

Agraïments

Voldria agrair la col·laboració del meu tutor de treball final de grau Fernando Guirado, pel que fa respecte al subministrament de material, la seva ajuda constant i l'interès demostrat que ha fet possible tirar endavant el projecte.

Tanmateix també voldria nombrar a Adolf Izquierdo, encarregat del laboratori d'electrònica, i Ricard Vicente, encarregat del laboratori de mecànica, que han fet possible la creació física del prototip.

Altrament, també donar gràcies a César Gemenó, professor del departament de ciència i producció vegetal de la UDL, el qual ens ha ajudat a conèixer l'estat de l'art en el món de l'electrònica aplicada a l'apicultura i també ens ha ajudat a contactar amb gent del sector per tal de poder fer proves a les arnes amb el prototipus.

Per acabar, donar gràcies a Jaume Badia i Jesús Castanyó per deixar-me fer les proves del prototip als seus ruscs es i donar-me una visió més objectiva de l'apicultura.

Resum

L'apicultura és una de les especialitzacions de la ramaderia que a l'actualitat encara es manté sense gairebé cap tipus de tecnologia associada. Els ruscs continuen funcionant de forma similar a fa milers d'anys, on les abelles fan la feina i l'apicultor recol·lecta els productes que en generen.

El present treball consisteix en dissenyar i construir un prototip que permeti monitoritzar diferents paràmetres d'un rusc d'abelles: la temperatura interna i externa, la humitat també interna i externa així com comptabilitzar el nombre d'abelles que entren i surten del rusc. Totes les dades que es van adquirint queden emmagatzemades en una memòria SD.

Per aconseguir-ho s'ha dissenyat i creat un prototip, de baix cost i de fàcil implementació e instal·lació. En aquest prototip en qualsevol moment l'usuari pot observar els diferents paràmetres monitoritzats mitjançant una pantalla LCD.

Per a comprovar el correcte funcionament del prototipus, s'han realitzat proves de camp, incorporant-lo a un rusc d'abelles reals i prenent mesures durant un temps limitat.

El treball s'ha realitzat seguint una planificació prèviament definida, començant per un estudi a fons del mercat, realitzant diverses consultes a experts en l'apicultura, el disseny i muntatge del prototip, la seva programació i finalment l'anàlisi dels resultats obtinguts a les proves de camp.

Els resultats mostren la viabilitat del prototipus creat i dona peu a la seva utilització per part d'apicultors interessats en conèixer quelcom més de l'estat del rusc o per a la utilització a l'estudi del comportament de les abelles.

Índex de continguts

1	Introducció.....	5
1.1	Introducció a l'Apicultura.....	5
1.2	Característiques Principals	6
1.2.1	Forma de les Arnes.....	6
1.2.2	Tipus d'Arnes.....	6
1.2.2.1	Caixes Verticals.....	7
1.2.2.2	Caixes Horitzontals.....	7
1.2.3	Tipus D'eixams.....	8
1.2.3.1	Els Nuclis.....	9
1.2.3.2	Les Colònies.....	10
1.3	Factors que Afecten als Ruscs	10
1.3.1	Factors Externs	11
1.3.2	Factors Interns.....	12
1.4	Motivació.....	13
1.5	Metodologia	13
1.6	Estructura del document.....	14
2	Estat de l'Art	15
2.1	Projectes Professionals	15
2.2	Projectes Amateurs	16
2.3	Consulta als Experts	17
2.4	Objectius	17
2.5	Comparativa dels altres projectes amb la proposta d'aquest Treball Final de Grau ..	18
3	Components Físics del Prototipus	19
3.1	Sensors de Temperatura i Humitat	19
3.2	Sensors de Barrera Infraroja	26
3.1.1	Diagrama d'Estats.....	28
3.2.1	Implementació del mòdul d'Entrada i Sortida de les abelles.....	37
3.3	Pantalla LCD [9]	40
3.4	Memòria SD [10]	42
3.5	Microcontrolador - ARDUINO	44
3.6	Prototipus final.....	46
4	Programació del prototipus.....	49

4.1	Gestió de Dades	49
4.2	Diagrama de Flux.....	51
4.1.1	Procés d'inicialització	51
4.1.2	Bucle principal del programa	52
4.1.3	Gestió de les interrupcions	53
5	Proves de Camp	55
5.1	Avaluació del consum elèctric.....	55
5.2	Instal·lació del prototipus.....	55
5.3	Prova de Camp 1	57
5.3.1	Resultats.....	57
5.4	Prova de Camp 2	58
5.4.1	Resultats.....	59
6	Anàlisi de Costos.....	63
6.1	Estudi de Costos	63
6.1.1	Cost dels components	63
6.1.2	Cost de disseny del producte	65
6.1.3	Cost de creació física del producte	65
6.1.4	Cost de programació del producte.....	65
7	Conclusions i Treball Futur	67
7.1	Conclusions	67
7.2	Treball Futur	68
8	Bibliografia.....	71
9	Annexos	73
9.1	Resum de les Reunions.....	73
9.1.1	Reunió 02/02/2015 - Definició del Treball Final de Grau.....	73
9.1.2	Reunió 06/02/2015 – Planificació del Treball Final de Grau	73
9.1.3	Reunió 10/02/2015 – Reunió expert apicultura.....	74
9.1.4	Reunió 16/02/2015 –Preparació reunió experts apicultura	75
9.1.5	Reunió 18/02/2015 – Reunió experts apicultura	75
9.1.6	Reunió 02/03/2015 – Identificació de components, inici desenvolupament	76
9.2	Schematics.....	77
9.3	PCB	82
9.4	Vistes Mòdul Comptador d'Abelles.....	84

Índex de Figures

Fig. 1 – Arna d'abelles	6
Fig. 2 – Panell d'abelles	6
Fig. 3 – Caixa Langstroth.....	7
Fig. 4 – Caixa Layens.....	7
Fig. 5 – Dos Abellots	9
Fig. 6 – Abella Reina	9
Fig. 7 – Abella parasitada per Varroasi.....	12
Fig. 8 – Vespa asiàtica atacant una abella de la mel	12
Fig. 9 – Diagrama de Gantt Planificat.....	13
Fig. 10 – Gràfiques pàgina web "www.arnica.co.uk"	16
Fig. 11 – Vistes sensor DS18B20.....	20
Fig. 12 – Exemple Connexionat sensor DS18B20	20
Fig. 13 – Codi font exemple sensor DS18B20.....	21
Fig. 14 – Vistes sensor HIH4000-002	22
Fig. 15 – Exemple connexionat sensor HIH4000-002.....	22
Fig. 16 – Codi font exemple sensor HIH4000-002.....	23
Fig. 17 – Vistes sensor DHT11	24
Fig. 18 – Exemple connexionat sensor DHT11	24
Fig. 19 – Codi font exemple sensor DHT11	25
Fig. 20 – (a) Moviment d'entrada de l'abella	27
Fig. 21 – (b) Moviment de sortida de l'abella.....	27
Fig. 22 – Mesures del Sensor.....	28
Fig. 23 – Vista en Perspectiva del Sensor	28
Fig. 24 – Exemple connexionat GP1A75HR	28
Fig. 25 – Diagrama d'estats d'entrada i sortida	30
Fig. 26 – Estat 0 o d'espera A=B=0	32
Fig. 27 – Estat 1 A=1	32
Fig. 28 – Estat 2 A=B=1	33
Fig. 29 – Estat 3 B=1	33
Fig. 30 – Estat 0 o d'espera A=B=0	34
Fig. 31 – Transicions particulars	35
Fig. 32 – Transició particular estat 1 - estat 4	35
Fig. 33 – Transició particular estat 2 - estat 0	36
Fig. 34 – Transició particular estat 3 - estat1	36
Fig. 35 – Transició particular estat 0 - estat 0	37
Fig. 36 – Pinout del multiplexor SN74150.....	38
Fig. 37 – Exemple de funcionament multiplexor	38
Fig. 38 – Codi font exemple multiplexor + sensors GP1A75HR.....	40
Fig. 39 – Pantalla LCD 16x2	40
Fig. 40 – Exemple connexionat Pantalla LCD + mòdul I ² C.....	41
Fig. 41 – Codi font exemple pantalla LCD 16x2.....	42

Fig. 42 – Vistes de la extensió i de la memòria SD	42
Fig. 43 – Exemple connexionat memòria SD	43
Fig. 44 – Codi font exemple memòria SD	44
Fig. 45 – Arduino UNO Rev.3	45
Fig. 46 – Esquema dels mòduls del prototipus	47
Fig. 47 – Mòdul d'entrada i sortida de les abelles.	47
Fig. 48 – Mòdul – Sistema de control.....	48
Fig. 49 – Procés d'inicialització.....	51
Fig. 50 – Bucle principal del programa.....	52
Fig. 51 – Control de les interrupcions	54
Fig. 52 – Muntatge del prototipus.....	55
Fig. 53 – Vista de les obertures d'entrada i sortida a l'arna.....	56
Fig. 54 – Entorn de les proves de camp	56
Fig. 55 – Evolució de la temperatura.....	57
Fig. 56 – Evolució de la humitat	58
Fig. 57 – Evolució de l'entrada i sortida i correlació amb la temperatura	59
Fig. 58 – Evolució de la temperatura.....	59
Fig. 59 – Evolució de la temperatura.....	60
Fig. 60 – Diagrama de Gantt final	68
Fig. 61 – Schematic ARDUINO UNO Rev.2.....	77
Fig. 62 – Schematic Fotodetectors + Multiplexor	78
Fig. 63 – Schematic LCD 16x2 + Mòdul I2C	79
Fig. 64 – Schematic Mòdul SD Card + Memòria SD.....	80
Fig. 65 – Schematic Sensors DHT11	81
Fig. 66 – PCB Mòdul comptador d'abelles	82
Fig. 67 – PCB Mòdul comptador d'abelles (Impressió Placa Baquelita).....	82
Fig. 68 – PCB Prototip principal.....	82
Fig. 69 – PCB Prototip principal (Impressió Placa Baquelita)	83
Fig. 70 – Vista en Perspetiva	84
Fig. 71 – Vista Perfil	84
Fig. 72 – Vista Alçat	85
Fig. 73 – Vista Planta	85

1 Introducció

1.1 Introducció a l'Apicultura

L'apicultura és una especialització de la ramaderia que consisteix a la cria de l'abella (*Apis mellifera*) per l'home per tal d'explotar els productes que generen dins del rusc. L'apicultor ha de procurar a l'eixam d'abelles un abric i tenir-ne cura: alimentació suplementària, control de malalties, anar amb compte amb els plaguicides, fecundació artificial de reines, etc. Se'n recull una part de la mel que produeixen procurant que no els en manqui per passar l'hivern.

L'apicultura data d'entre 8000 a 4000 d'anys abans de crist d'antiguitat, en aquest període de 4000 anys, l'apicultura va evolucionar ja que fins a aquells moments l'home recol·lectava mel directament de ruscs silvestres i durant el període l'home va aprendre a proporcionar a les abelles un habitat fabricat per ell, on elles hi podrien criar i construir panells en el seu interior. Aquest recipient permetia tenir les colònies d'abelles en un lloc proper i accessible per a recol·lectar la mel amb més facilitat, en aquests ruscs primitius les abelles construïen els panells de forma natural, per a recol·lectar la mel l'apicultor tenia que destruir part de la colònia, aquest tipus d'apicultura amb panells fixats a les parets del rusc s'anomena apicultura fixista.

No es fins al 1600 que l'apicultura canvia i per recol·lectar la mel no cal destruir els ruscos ja que senzillament es construeixen uns panells movibles on les abelles hi viuran i hi produiran mel. Tot això suposa un gran avenç en l'apicultura ja que d'un eixam d'abelles se'n pot obtenir un altre sense haver de destruir l'anterior i obtenim el doble de mel. Aquest tipus d'apicultura que permet moure els panells s'anomena apicultura de quadres mòbils o mobilistes.

Els productes més tradicionals que es recollen de les abelles eren la mel i la cera. El pròpolis, un tipus d'ungüent que ha estat usat des de l'antiguitat i actualment el seu ús està molt estès en farmàcia, dietètica i cosmètica, ha esdevingut d'ús molt corrent i amb noves aplicacions des de fa relativament pocs anys. El mateix es pot dir de la gelea reial o del pol·len fresc, recollit abans que les abelles entrin al rusc i el processin. També hi ha explotacions dedicades a vendre eixams o activitats relacionades amb el mercat de venda de ruscos buits, estris apícoles, medicaments, etc.

Practicada en tots els continents, aquesta activitat difereix segons les varietats d'abelles, el clima i el nivell de desenvolupament econòmic. L'apicultura és un camp on

es barregen els mètodes ancestrals, com el fum per actuar dins del rusc, amb els mètodes moderns com la inseminació artificial de reines.

1.2 Característiques Principals

Les arnes són caixes destinades a ser habitades per eixams d'abelles, la seva funció es doble, permeten que les abelles es puguin reproduir i formar nous eixams i a part també serveixen per produir mel, el conjunt d'arna més eixam d'abelles s'anomena rusc.

1.2.1 Forma de les Arnes

Aquestes caixes són de forma paral·lelepípedica, tenen un o més forats per on entren i surten les abelles d'aproximadament uns 5 cm², la part superior de la caixa es pot destapar i disposen de conductes tapats amb tela mosquitera per a que les abelles puguin ventilar el rusc, tal i com es mostra en la fig. 1. En l'interior d'aquestes caixes hi han uns panells on les abelles hi habiten i hi produeixen la mel, aquests panells tenen uns filferros que subjecten una superfície de cera que les abelles estiren per formar cel·les hexagonals on hi han cries o mel, tal i com es mostra en la fig. 2.



Fig. 1 – Arna d'abelles



Fig. 2 – Panell d'abelles

1.2.2 Tipus d'Arnes

L'apicultura actual utilitza caixes o arnes que podem classificar dins dos grans grups:

- caixes verticals.
- caixes horitzontals.

1.2.2.1 Caixes Verticals

Reben aquest nom totes aquelles caixes que poden expandir-se de manera vertical, afegint-hi pisos (alces) quan l'apicultor ho cregui oportú.

Tot i que trobem molts models que entrarien dins d'aquest apartat cal remarcar-ne dos, la caixa Langstroth (fig. 3) i la Dadant, que són les més utilitzades.

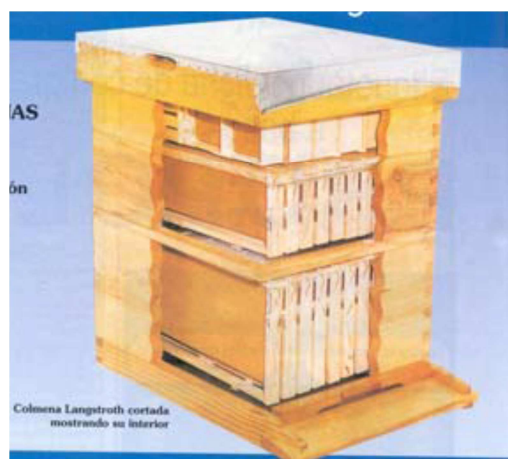


Fig. 3 – Caixa Langstroth

1.2.2.2 Caixes Horitzontals

Reben aquest nom totes aquelles caixes compostes per un volum fixe i no ampliabile. La més representativa d'aquestes és la caixa Layens (fig. 4).

Cal remarcar que és una de les caixes més còmodes de transportar.

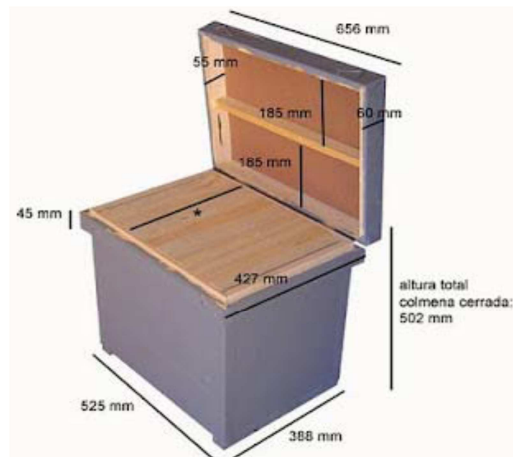


Fig. 4 – Caixa Layens

1.2.3 Tipus D'eixams

En aquest apartat explicarem una mica totes les utilitats d'un eixam, i també com funciona aquest, ja que un eixam es com una civilització i cada membre desenvolupa una activitat diferent.

En l'apicultura moderna bàsicament hi han dos tipus d'eixams d'abelles, els nuclis i les colònies.

Abans d'explicar com funcionen els dos tipus d'eixams, explicarem els tres tipus d'abelles que hi ha en un eixam:

- La Reina: És pot distingir perquè és la més llargaruda de tot l'eixam (fig. 6). Neix d'una larva alimentada únicament amb gelea reial. Quan és jove fa les mateixes tasques que les obreres. Més tard, només es dedicarà única i exclusivament a la reproducció. Es fecundada pels abellots, aparellant-se amb ells a la primavera. Es dedica a pondre milers d'ous que diposita un a un a les cel·les.
- L' abellot: És el mascle, el més gros i voluminós com podem observar a la fig. 5. La seva única tasca a l'eixam és fecundar a la reina. No treballa com les obreres i si aquestes no els donen menjar, són capaços de morir. La seva vida és molt curta, uns tres mesos. Una vegada han fecundat la reina ja no són útils i moren. Són uns veritables mandrosos.
- L' obrera: És la més petita de totes les abelles (fig. 5). La seva tasca és variada segons l'edat. Tot i que la seva vida és molt curta, uns quaranta dies, primer fa tasques de neteja, més tard anar a recollir el pol·len i el nèctar, fabricar la mel, alimentar les cries, els abellots i la reina, vigilar, fabricar cel·les,... , es a dir, no para.

A continuació posarem unes fotos comparatives dels tres tipus d'abelles.

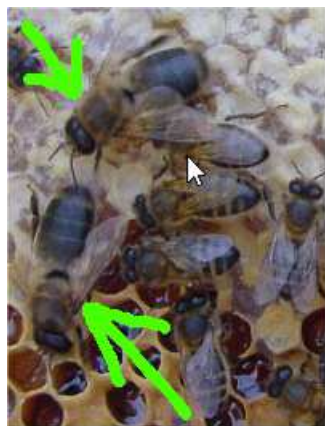


Fig. 5 – Dos Abellots



Fig. 6 – Abella Reina

En la fig. 5 es pot distingir entre les obreres i els abellots les fletxes verdes senyalen a dos abellots, es pot observar la diferencia de mida entre els dos tipus d'abelles.

En la fig. 6 es pot distingir la reina. Té un cos llarguerut i es pot observar la diferencia respecte a les obreres.

1.2.3.1 Els Nuclis

Un nucli d'abelles és una colònia amb les seves obreres, la reina i cinc o sis bresques amb la seva corresponent cria i reserves de mel i pol·len. Al instal·lar-lo dins d'una caixa col·locarem els cinc o sis quadres en un lateral, conservant l'ordre que tenien dins el nucli.

La colònia anirà creixent i ocupant la caixa progressivament a mesura que les floracions permetin a l'abella recol·lectar nèctar i pol·len. Mai tindrem una davallada de població, en tot cas una aturada si la climatologia no es propícia i difícilment un nucli morirà de fam.

Val a dir que encara que els nuclis tinguin reserves, si quan els instal·lem dins una caixa els alimentem, independentment de les floracions que hi pugui haver, aconseguirem que creixin amb molta més rapidesa.

Si comparem els preus que podem pagar per un eixam i per un nucli, tot i ser el nucli més car, aquest a part de la població consta també de cinc o sis bresques amb mel, pol·len i cria, fet que els acaba igualant en cost.

1.2.3.2 Les Colònies

Una colònia d'abelles es un conjunt d'abelles obreres (1-2 kg) amb la seva corresponent reina. L'abella consumeix aproximadament deu quilos de mel per cada quilo de cera que segrega, imagineu-vos doncs l'esforç que ha de fer un eixam quan l'instal·lem en una caixa i comença des de zero. Un cop dins, les abelles s'emplaçaran on més els hi agradi, normalment en un dels laterals (dret o esquerra), ja que així podran regular millor la temperatura i conseqüentment economitjar les seves reserves (l'abella menja mel per generar escalfor). Tot seguit començaran la construcció de bresques que progressivament aniran omplint de cria a l'espai central i de mel i pol·len al seu voltant.

Aquesta nova cria trigarà vint-i-un dies a néixer, període en què hi haurà una davallada de població. Durant aquest temps una part dels individus de la colònia anirà morint per vellesa i no tindrà relleu fins que comencin a néixer les primeres obreres, moment en què la colònia tornarà a créixer.

Cal tenir-ne especial cura les primeres setmanes, quan les reserves són escasses. Si durant aquests dies hi hagués un període de pluges persistents que no permetessin a l'abella sortir a recol·lectar menjar, amb tota certesa acabarien morint per fam; arribats a aquest extrem ens caldria alimentar les noves colònies.

Mantenir i fer créixer una colònia requereix un cert nivell d'experiència, i és per aquest motiu que la millor opció per els apicultors novells és el nucli.

1.3 Factors que Afecten als Ruscs

Les abelles, com molts altres insectes, també es veuen afectades per molts factors com poden ser la meteorologia, les plagues, productes fitosanitaris utilitzats en les plantacions i conreus, etc. A part també hi ha factors interns al rusc que generen les mateixes abelles com pot ser la regulació d'humitat i temperatura de dins del rusc, el soroll que produeixen, el pes de l'arna i l'entrada i sortida d'abelles al rusc.

Podríem dir que les abelles, quan reaccionen davant de factors externs adversos modifiquen alguns dels factors interns del rusc, supervisar aquests factors interns pot ser de gran interès per als apicultors, no obstant, per prevenir també es interessant supervisar alguns dels factors externs, però molts d'aquests factors són difícilment previsibles i escapen de les mans de l'apicultor.

1.3.1 Factors Externs

Les abelles, com molts altres insectes, es veuen afectades per la meteorologia, a continuació s'explica com afecten a les abelles alguns dels factors meteorològics més importants.

- Temperatura i radiació solar: aquestes dos variables s'han d'avaluar conjuntament ja que per que la temperatura augmenti hi ha d'haver una elevada radiació solar. S'ha observat que els dies amb temperatures fresques i alta radiació solar les abelles poden desenvolupar una bona activitat en canvi, els dies amb poca radiació i temperatures altes l'activitat de les abelles es veu afectada negativament.
- Precipitació: la precipitació es de gran importància en l'apicultura perquè afavoreix la floració i juntament, la producció de nèctar. Unes precipitacions abundants a la tardor i l'hivern asseguren una major floració a la primavera, que això es tradueix amb un major número de flors i augment de l'activitat de les abelles. Tot i això, les pluges fortes a la primavera, els dies ennuvolats i els forts vents perjudiquen l'activitat del rusc. Podem dir que aquesta variable meteorològica es l'única que sembla tenir una influència directa en la producció de mel.
- Velocitat del vent: el vent en general no es bo pel desenvolupament de la colònia ja que les abelles es posen nervioses i no realitzen la seva activitat amb la mateixa eficàcia.
- Humitat relativa: Se sap que els valors d'humitat relativa a l'aire influeixen tant en l'activitat de les abelles com en el règim de producció de nèctar de les plantes, essent aquest major amb una elevada humitat relativa i una bona exposició solar. Si es vol establir una relació entre la humitat relativa i la producció de nèctar per les abelles, s'ha de tenir en compte que, si la humitat relativa es alta, s'aconseguirà una floració òptima amb una bona exposició solar. Així mateix, la humitat relativa no es relaciona amb la producció apícola, depèn més de les pluges que comporten un augment brusc del percentatge d'humitat.

També Hi ha plagues que afecten les abelles a continuació en nombrarem algunes:

- Varroasi: també anomenat pel seu nom científic *Varroa destructor*, és un tipus d'àcar que s'instal·la al rusc d'abelles i el destrueix. La seva acció parasitaria mata a les abelles ja que els extreu l'hemolimfa, el seu líquid circulatori, també

parasita a les larves i les pupes de les abelles. En la Fig. 7 s'observa com l'abella adulta esta parasitada per 2 àcars.

- La vespa depredadora asiàtica: també anomenada pel seu nom científic *Vespa velutina* és una espècie de vespa oriünda del sud-est asiàtic que s'està estenent per Europa. És una espècie depredadora natural de les abelles. No és especialment agressiva per a les persones però si per a les abelles ja que mata moltes abelles i molt ràpid, 30 vespes poden arribar a matar 3000 abelles de la mel en molt poca estona. En la fig. 8 s'observa la diferencia de mida entre una vespa asiàtica i una abella de la mel.



Fig. 7 – Abella parasitada per Varroasi

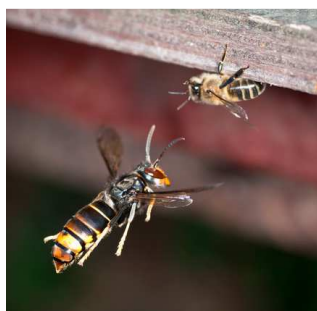


Fig. 8 – Vespa asiàtica atacant una abella de la mel

1.3.2 Factors Interns

En l'apartat anterior hem parlat de factors externs que afecten el rusc, però no només s'han de tenir en compte aquests factors, hi han altres factors com les plagues que també s'han de tenir en compte i per poder controlar-los s'han d'observar paràmetres interns del rusc com per exemple el soroll de les abelles, l'entrada d'abelles, la sortida d'abelles, la temperatura interna, la humitat interna, el pes, etc.

- Soroll de les abelles: Un rusc emet un soroll característic relacionat amb el nombre i l'activitat de les abelles que hi hagi dins. Aquest brunzit es pot gravar i analitzar ja que canvia notablement en situacions d'alarma.
- Entrada i sortida d'abelles del rusc: tenir un control del nombre d'abelles que surten o entren al rusc pot ser molt útil per a detectar alguna plaga o la presencia d'algun insecte o ocells depredadors d'abelles.
- Temperatura i humitat internes del rusc: Les abelles treballen gran part del dia en mantenir la temperatura i la humitat constants a dins del rusc, una variació brusca d'aquesta temperatura constant pot ser un indicador de que alguna cosa no acaba de funcionar bé.
- Pes del rusc: Es un indicador del creixement del rusc ja que com més abelles i mel hi ha al rusc més massa té el rusc.

1.4 Motivació

Avui dia la majoria d'apicultors d'Espanya són aficionats, tenen els ruscs d'abelles com una diversió i per a beneficiar-se d'uns ingressos extres, només un 20 % dels apicultors s'hi dediquen professionalment, tal i com ja s'ha comentat, les abelles estan exposades a molts perills, siguin provocats per plagues o per fenòmens meteorològics.

Coneixent un familiar i un conegut del poble aficionats a l'apicultura hem vaig interessar en fer un estudi de les abelles i el seu habitat, vaig pensar que la monitorització podria ser la millor opció per a fer aquest estudi.

Hem vaig posar a buscar informació per la web i vaig trobar diverses empreses professionals que instal·len un sistema de monitorització en un conjunt d'arnes, l'apicultor en tot moment mitjançant una pàgina web pot saber l'estat dels ruscs: temperatura interna, humitat interna, soroll de les abelles, pes de l'arna, etc.

Una vegada vist el que hi havia al mercat vaig pensar en dissenyar un sistema de monitorització de baix cost per a poder fer un estudi sobre el comportament de les abelles.

1.5 Metodologia

La metodologia emprada al desenvolupament del present Treball Final de Grau es basa principalment en els següents apartats:

- Estudi i coneixement del tema a tractar
- Cerca de les solucions existents i valoració de noves propostes
- Dissenyar i desenvolupar la nova proposta
- Analitzar i avaluar els resultats obtinguts de les proves de camp

Aquests apartats s'han planificat en el temps seguint el següent diagrama de Gantt.

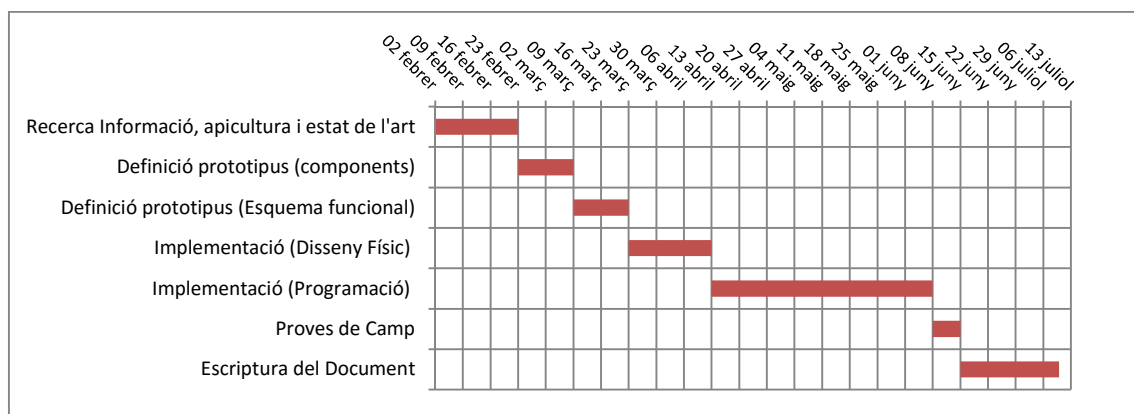


Fig. 9 – Diagrama de Gantt Planificat

1.6 Estructura del document

Aquest document es troba estructurat en diferents capítols.

El Capítol 1 fa una introducció i presenta la motivació del treball final de grau.

El Capítol 2 presenta l'estat de l'art en el tema de la monitorització i control dels ruscs d'abelles. S'analitza el que és present al mercat així com la informació recopilada d'experts en apicultura. Així es defineixen els objectius a assolir que diferencien la present proposta de la resta de productes existents.

El Capítol 3 determina els components físics necessaris per a poder crear un prototipus real que permeti la monitorització dels ruscs d'abelles. També es presenten les solucions aportades a les limitacions de senyals d'entrada digitals presents a la plataforma de desenvolupament escollida.

El Capítol 4 es centra al desenvolupament del software de control del prototipus, mostrant les estructures de dades i els diagrames de flux que el representen.

El Capítol 5 presenta els resultats i les valoracions de l'experimentació de camp realitzat amb el prototipus a un rusc real.

El Capítol 6 fa un anàlisi de costos associat al prototipus creat.

Finalment al Capítol 7 s'exposen les conclusions estretes d'aquest Treball Final de Grau i es defineix el treball futur que al que pot donar lloc. També s'analitza la temporització real del projecte respecte al previst al seu inici.

Finalment, es presenten al bibliografia i annexes complementaris a aquesta memòria.

2 Estat de l'Art

En aquest apartat s'ha fet un recerca i anàlisi del mercat a fi de tenir definides les funcionalitats bàsiques que es requereixen en un projecte d'aquest tipus. Tota aquesta informació s'ha extret de pàgines web d'empreses dedicades al sector (nivell professional) i de portals web de persones interessades en el tema (nivell amateur), en aquest apartat es posaran alguns exemples del que hi ha en els dos sectors, el professional i l'amateur.

A més a més de les consultes web també s'han fet consultes a gent experta en el tema, aquí es va tenir l'ajut del professor César Gemenó del departament de ciència i producció vegetal de la UDL i en Jaume Badia, un apicultor de les terres de Lleida. Gràcies a ells hem pogut tenir una visió més objectiva del camp i hem pogut partir de bones idees per a emprendre el projecte, les quals venen especificades a continuació.

2.1 Projectes Professionals

Pel que fa a nivell professional la monitorització de ruscós, es basa en adquirir dades i emmagatzemar-les en un servidor web a temps real, l'apicultor pot interactuar amb aquestes dades, establir alarmes que en qualsevol moment del dia, a part algunes empreses, ofereixen serveis addicionals com la localització GPS i avisos de les alarmes al mòbil o al correu electrònic, totes les empreses ofereixen una alimentació dels sistemes de monitorització totalment autònoma mitjançant plaques solars.

S'han trobat diversos productes pel que fa a monitorització de ruscós d'abelles:

- **Arnia [1]:**
Una empresa situada a Anglaterra dedicada exclusivament a la monitorització de ruscós, informa a l'apicultor en tot moment del pes de cada arna, temperatura i humitat interiors i exteriors de cada rusc, soroll de les abelles i possible robatori d'una arna, tota aquesta informació queda emmagatzemada a un servidor i es pot consultar en forma de gràfiques en la pàgina web de l'empresa com es pot observar a la fig. 10, després a part hi han tot tipus d'alertes SMS i per e-mail que l'usuari pot configurar, tot el sistema instal·lat en les arnes funciona gràcies a unes plaques solars i unes bateries.



Fig. 10 – Gràfiques pàgina web "www.arnica.co.uk"

- **SolutionBee [2]:**

Una altra empresa nord-americana, també exclusiva en el camp de la monitorització d'arnes, monitoritza temperatures i humitats igual que l'anterior, el pes de l'arna també, el soroll de les abelles en aquest cas no es té en compte, aquesta empresa a part, proporciona la ubicació dels ruscos en un mapa mitjançant "Google Maps" i GPS; al igual que l'anterior, totes aquestes dades queden emmagatzemades en un servidor web i el apicultor les pot consultar a temps real, en forma de gràfica o en una taula de dades, també es poden gestionar tot tipus d'alarmes a gust de l'apicultor.

2.2 Projectes Amateurs

A nivell amateur també s'ha trobat molta informació per Internet on s'explica com muntar el prototip i com programar-lo, a mode d'exemple es fa referència a continuació a un dels exemples més coneguts:

- **Beemonitor [3]:**

Una pàgina web on explica com posar diferents sensors de temperatura i humitat, també permet enviar aquestes dades a una web, per tal de comprovar a temps real la temperatura i humitat de diferents zones del rusc, aquest sistema està controlat per un microcontrolador, en aquest cas l'ARDUINO i alimentat amb una bateria connectada a una placa solar.

2.3 Consulta als Experts

Tal i com s'ha mencionat al principi, per emprendre el disseny del nostre prototip vam realitzar diverses consultes a experts en el tema. A continuació s'identifiquen els temes més importants que es van tractar.

- Humitat i temperatura: pel que fa la temperatura s'hauria de mesurar en diversos punts; la humitat s'hauria de mesurar a l'ambient.
- Controlar el nombre d'abelles que entren i surten del rusc pot ser molt interessant ja que pot ser molt útil per a fer futurs estudis de les abelles.
- Relacionar la temperatura i la humitat amb l'entrada i sortida d'abelles del rusc es interessant a nivell d'estudi del comportament de les abelles.
- Pes del rusc increment/decrement brusc del pes: control del pes del rusc per tenir una idea de la producció de mel, interessant poder controlar increments/decrements del pes del rusc en períodes de temps a escollir.
- Freqüència del so que produeixen les abelles: Pel que fa a aquest paràmetre no es de gran importància per a la producció de mel, però pot ser interessant instal·lar un micròfon per poder mesurar-lo.
- Impacte de l'abellerol sobre els ruscs, possibilitat de realitzar un estudi científic sobre aquest tema, ja que actualment no se n'ha fet cap.

A l'annex s'inclouran els resums de totes les reunions que es van realitzar amb els experts.

2.4 Objectius

Els objectius principals del projecte són els següents:

- Dissenyar i programar un prototip per a poder monitoritzar un rusc d'abelles el mes eficient i econòmic possible.
- Prendre mesures d' alguns dels paràmetres del rusc com la temperatura i humitat internes i externes de l'arna, la quantitat d'abelles que entren i surten cada hora.
- A partir dels resultats obtinguts realitzar gràfiques per correlacionar els resultats i avaluar el comportament de les abelles al llarg del dia per extreure'n conclusions.
- Plantejar futures millores del prototip, encara que no es tindran en compte a l'hora de realitzar el treball.

- Idear un pressupost que englobi tot el material i hores de treball dedicades a realitzar el projecte.

Altres objectius que té el treball són:

- Millorar els meus coneixements de programació en llenguatge C.
- Aprendre a utilitzar nous programes com el **Fritzing** i el **KiCad**, per a dissenyar la part electrònica del dispositiu.
- Millorar els meus coneixements amb programes que ja sabia fer anar com **Microsoft Office Word 2010**, **Microsoft Office Excel 2010**, **Entorn de programació d'ARDUINO** i **AutoCad 2014**.
- Tenir una visió més objectiva de l'apicultura.

Dels objectius principals el paràmetre d'entrada i sortida d'abelles del rusc creiem que es el més destacable ja que tal i com ens va mencionar en César Gemenó, es una de les coses que segons ell es d'interès científic important, i es interessant correlacionar el moviment d'abelles amb la temperatura i humitat interiors i exteriors del rusc.

2.5 Comparativa dels altres projectes amb la proposta d'aquest Treball Final de Grau

Pel que fa al que hem trobat al mercat, l'oferta es molt variada, però no hi ha cap projecte idèntic al que estem realitzant nosaltres.

Algunes parts si que són similars però d'altres són completament diferents, a continuació es detallaran totes les diferències que creiem que fan únic el nostre projecte respecte els altres.

- La utilització d'un µcontrolador de baix cost, software de programació gratuït, llenguatge de programació de baix nivell.
- Sensors utilitzats de baix cost i instal·lació senzilla.
- L'apicultor quan va a comprovar l'estat de les arnes pot consultar en una pantalla LCD les temperatures i humitats de dins del rusc i de l'ambient, tanmateix, també pot veure-hi les abelles que han entrat o han sortit de l'arna.
- Instal·lació del prototip en arnes senzill i ràpid.

3 Components Físics del Prototipus

Tal i com s'ha presentat als capítols anteriors, l'objectiu d'aquest treball és la monitorització dels paràmetres de temperatura i humitat, interiors i exteriors, de l'arna a més de poder quantificar el moviment d'entrada i sortida de les abelles.

Així en aquest capítol es presentaran els tipus de sensors s'han utilitzat i identificarà la seva elecció, a més es definirà la manera com s'ha muntat tot tant a nivell de hardware com de software, també s'inclourà el disseny mecànic del prototip i finalment es calcularà el cost total del prototip i l'amortització d'aquest.

A continuació enumerarem que es vol mesurar i com es vol mesurar, explicarem com funcionen els sensors que s'han buscat, les diferències entre ells i s'argumentarà l'elecció del sensor.

3.1 Sensors de Temperatura i Humitat

La temperatura i la humitat es mesuraran al interior i a l'exterior del rusc, hi ha diverses opcions per a realitzar aquestes mesures, podem utilitzar un sensor per a mesurar la temperatura i un altre per a mesurar la humitat o podem utilitzar sensors amb capacitat de donar lectures de temperatura i humitat relativa a la vegada, a continuació analitzarem alguns dels sensors que hi ha disponibles al mercat.

- **Dallas DS18B20 [4]:**

Aquest sensor mesura exclusivament temperatura, utilitza una única línia de dades per a comunicar-se i transmetre la informació i dues per l'alimentació. Hi ha la possibilitat d'alimentar el sensor a través de la connexió de comunicació reduint a 2 el nombre total de línies emprades (fig. 11).

Aquest tipus de sensor es pot utilitzar en sèrie, es a dir, a partir d'un sol cable de comunicació podem obtenir la temperatura de diferents sensors, fins a un màxim de 8 sensors.

Per a utilitzar aquest sensor s'han de fer servir unes llibreries específiques, disponibles a la web. A continuació es mostrarà un exemple de connexionat utilitzant el microcontrolador ARDUINO UNO Rev3 (fig. 12).



Fig. 11 – Vistes sensor DS18B20

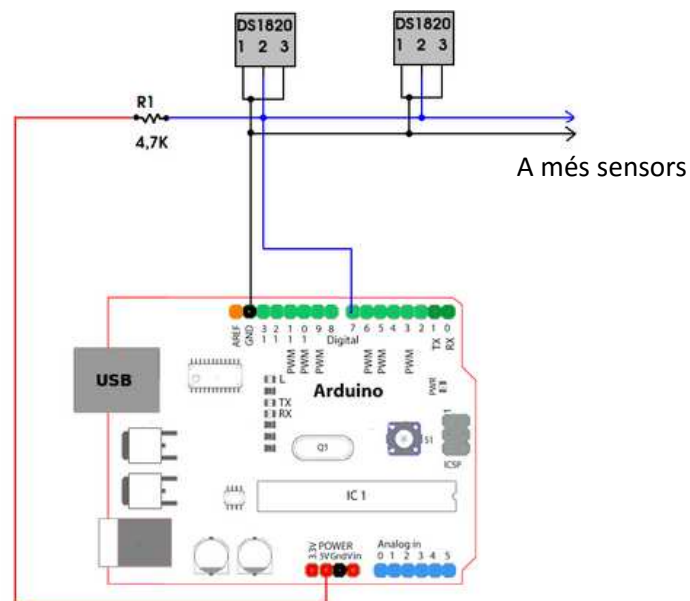


Fig. 12 – Exemple Connexionat sensor DS18B20

A continuació es mostrarà un petit codi en llenguatge C per obtenir la lectura del sensor.

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Data wire is plugged into pin 2 on the Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 2

// Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices
// (not just Maxim/Dallas temperature ICs)
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// Pass our oneWire reference to Dallas Temperature.
DallasTemperature sensors(&oneWire);

void setup(void)
{
    // start serial port
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Dallas Temperature IC Control Library Demo");

    // Start up the library
    sensors.begin();
}

void loop(void)
{
    // call sensors.requestTemperatures() to issue a global temperature
    // request to all devices on the bus
    Serial.print(" Requesting temperatures...");
    sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures
    Serial.println("DONE");

    Serial.print("Temperature for Device 1 is: ");
    Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0)); // Why "byIndex"?
    // You can have more than one IC on the same bus.
    // 0 refers to the first IC on the wire
}
```

Fig. 13 – Codi font exemple sensor DS18B20

Aquest codi captura la temperatura i ens la mostra a la pantalla de l'ordinador mitjançant comunicació serial a través del port USB.

- **Sensor d'humitat HIH4000-002** [5]:

Serveix únicament per a mesurar la humitat relativa de l'aire. En aquest cas estem parlant d'un sensor analògic, i consta de 3 connexions, dos connexions són per l'alimentació i la tercera retorna el valor analògic de la lectura (fig. 12).

Aquest valor analògic es casi lineal envers la humitat relativa del medi.

Si es vol utilitzar més d'un sensor es requereix utilitzar una entrada analògica individual per a cadascun d'ells.

A continuació es mostra un exemple de connexionat (fig. 13).

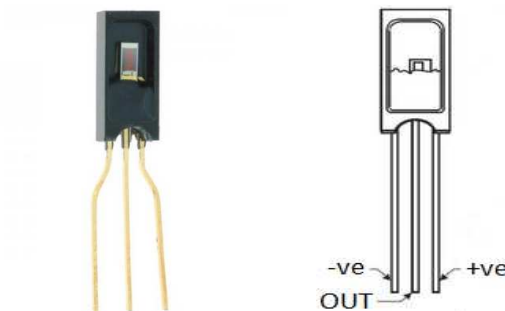


Fig. 14 – Vistes sensor HIH4000-002

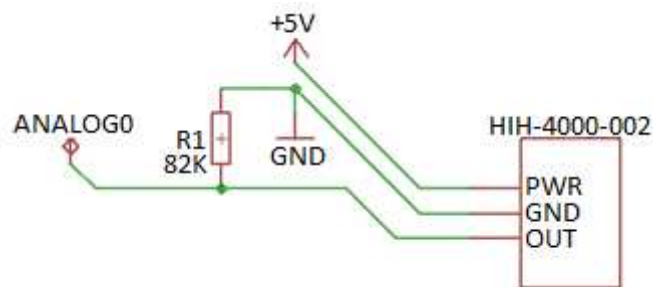


Fig. 15 – Exemple connexionat sensor HIH4000-002

A continuació es mostrarà un petit codi en llenguatge C per obtenir la lectura del sensor.

```
// include the library code:
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
int sensorPin = 0;
int sensorValue = 0; // variable to store the value coming from the
sensor
float voltage = 0;
float RH = 0;

void setup() {
  // set up the LCD's number of rows and columns:
  lcd.begin(16, 2);
}

void loop() {
  // read the value from the sensor
  sensorValue = analogRead(sensorPin);
  // (1 = 0.0049V) 0-1023 range
  voltage = sensorValue * 0.0049;
  // Relative humidity(RH) (These are the values for my sensor, yours
may differ a bit)
  // 0% = about 163
  // 100% = about 795
  // With roughly linear response
  // 795 - 163 = 632 (points in the sensor's range)
  // 6.32 points = 1% RH
  RH = (sensorValue - 163) / 6.32;
  if (RH < -5) {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.clear();
    lcd.print("Check sensor!");
  } else {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(sensorValue); //Analog input value in range of 0-1023
    lcd.setCursor(5, 0);
    lcd.print(voltage); //Voltage calculated from the previous value,
see comment above
    lcd.setCursor(10, 0);
    lcd.print(RH); //Relative humidity in percent
  }
  delay(100);
}
```

Fig. 16 – Codi font exemple sensor HIH4000-002

Aquest codi captura el valor d'humitat del sensor i ens el mostra en una pantalla LCD petita connectada a l'ARDUINO.

- **Sensor DHT11** [6]:

Aquest tipus de sensor inclou lectura de temperatura i humitat a la vegada, ja que utilitza un protocol de comunicació per tren de polsos, aquest sensor utilitza 3 connexions (fig. 14), 2 per alimentació i un per comunicació amb el microcontrolador, per a poder fer anar el sensor hem d'adquirir unes llibreries que estan disponibles a la web, a continuació un exemple de connexionat (fig. 15).

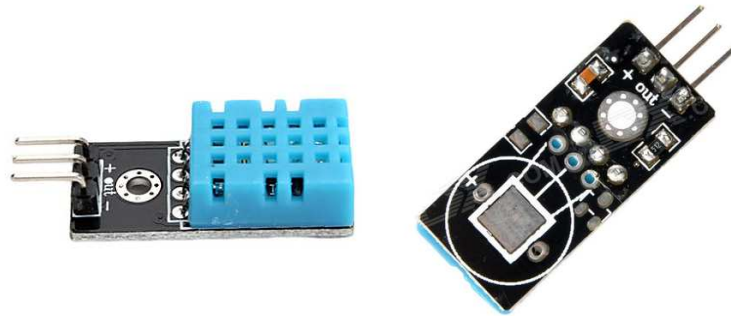


Fig. 17 – Vistes sensor DHT11

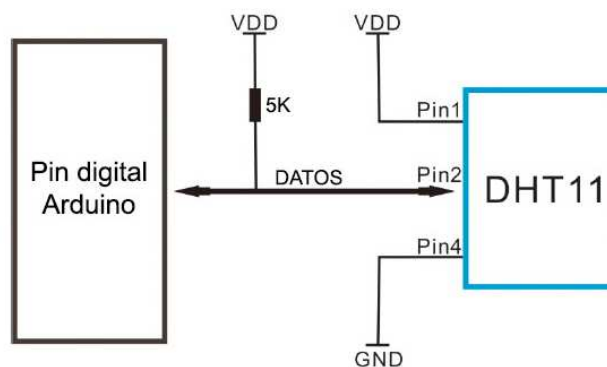


Fig. 18 – Exemple connexionat sensor DHT11

A continuació es mostrarà un petit codi en llenguatge C per obtenir la lectura del sensor.

```
#include "DHT.h"

#define DHTPIN 2      // what pin we're connected to

#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11

// Initialize DHT sensor for normal 16mhz Arduino
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("DHTxx test!");

    dht.begin();
}

void loop() {
    // Wait a few seconds between measurements.
    delay(2000);

    // Reading temperature or humidity takes about 250 milliseconds!
    // Sensor readings may also be up to 2 seconds 'old' (its a very slow sensor)
    float h = dht.readHumidity();
    // Read temperature as Celsius
    float t = dht.readTemperature();
    // Read temperature as Fahrenheit
    float f = dht.readTemperature(true);

    // Check if any reads failed and exit early (to try again).
    if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {
        Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
        return;
    }

    // Compute heat index
    // Must send in temp in Fahrenheit!
    float hi = dht.computeHeatIndex(f, h);

    Serial.print("Humidity: ");
    Serial.print(h);
    Serial.print(" %\t");
    Serial.print("Temperature: ");
    Serial.print(t);
    Serial.print(" *C ");
    Serial.print(f);
    Serial.print(" *F\t");
    Serial.print("Heat index: ");
    Serial.print(hi);
    Serial.println(" *F");
}
```

Fig. 19 – Codi font exemple sensor DHT11

Aquest codi captura els valors d'humitat i temperatura del sensor i ens els mostra a la pantalla de l'ordinador mitjançant comunicació serial a través del port USB.

Taula comparativa entre els 3 sensors:

Nom Sensor	Preu Unitari	Precisió	Resolució	Rang	Digital/Analògic
Dallas DS18B20	0,371 €	$\pm 0,5$ °C	12 bits	-55 °C a 125 °C	Digital
HIH4000-002	14,98 €	$\pm 3,5$ %HR	-	0 %HR a 100 %HR	Analògic
DHT11	2,51€	± 5 %HR ± 2 °C	1 %HR 1 °C	20 %HR a 90 %HR 0 °C a 60 °C	Digital

Taula. 1 – Comparació entre els 3 sensors

Per les mesures en el rusc s'utilitzarà el sensor DHT11 i se'n posaran dos un dins de l'arna i l'altre a fora, s'ha elegit aquest sensor ja que es el més econòmic que mesura temperatura i humitat a la vegada, els rangs de mesura i la resolució són apropiats per a les mesures que volem fer i es un sensor fàcil de muntar i utilitzar.

3.2 Sensors de Barrera Infraroja

El control de l'entrada i sortida de les abelles no és un problema fàcil de resoldre degut al propi comportament de les abelles i la forma en que l'arna està dissenyada. A l'arna existeix una obertura de dimensions variables per on les abelles entren i surten, normalment aquesta obertura és allargada amb unes dimensions que varien en funció de la grandària de l'arna. Això fa que a un moment determinat hi pugui haver múltiples abelles entrant o sortint de forma simultània.

A l'hora de plantejar una possible solució es va optar per definir un espai que limiti la forma en que les abelles accedeixen a l'arna. Aquesta limitació ha de complir que faciliti el control de l'entrada i sortida de les abelles però a més que no estressi a les abelles ni generi disfuncions en la seva forma d'actuar.

Havent consultat als experts al tema, es va optar per crear una entrada amb múltiples forats per on passaran les abelles d'una diàmetre mínim de 8mm. Aquests forats tindran la dimensió adequada per a que només pugui passar una única abella. El fet de tenir múltiples entrades/sortides evitarà l'estrès a les abelles.

La detecció del moviment de les abelles al passar pels forats es realitzarà basant-se en barreres d'infrarojos. Aquest dispositiu actua com un interruptor ja que quan quelcom passa a través del feix de llum infraroja aquest sensor ho pot percebre i donar una senyal lògica que ho representa.

Tanmateix amb un únic sensor només és possible determinar el moviment de les abelles però no si entren o surten. Per aquest motiu s'ha dissenyat una estructura basada en parelles de barreres infrarojos que permetran identificar i classificar el moviment de les abelles.

A la següent figura s'il·lustra la detecció del moviment de les abelles a partir de l'esquema que prèviament s'ha indicat.

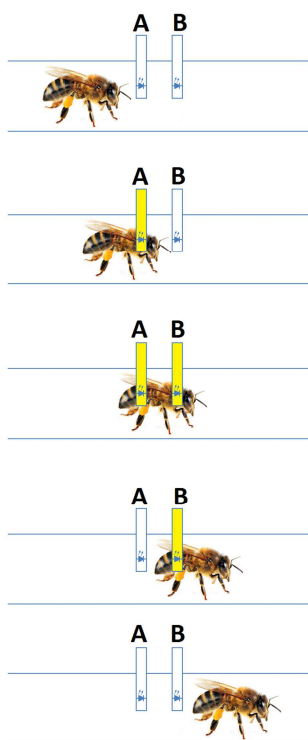


Fig. 20 – (a) Moviment d'entrada de l'abella

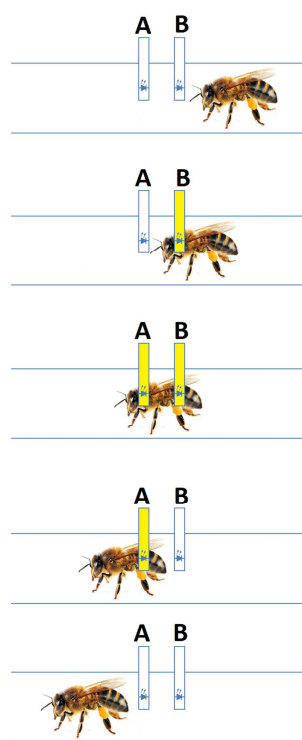


Fig. 21 – (b) Moviment de sortida de l'abella

En la imatge observem el cas (a) en el qual una abella està entrant al rusc; primerament l'abella obstrueix el sensor A, a continuació obstrueix el sensor A i el sensor B a la vegada, després obstrueix el sensor B, i per acabar, l'abella no obstrueix cap sensor i això ens indica que l'abella ja ha entrat al rusc.

Pel que fa el cas (b) és exactament igual l'únic que quan l'abella deixa d'obstruir els sensors ens indica que ja ha sortit del rusc.

Per a implementar les barreres d'infrarojos s'ha escollit els **sensors GP1A75HR** [7]. Aquest sensor ja té una forma de "U" i el lloc per on ha de passar l'abella mesura 1cm d'amplada tal i com s'observa en la fig. 16, és a dir, que hi ha suficient espai per a que l'abella pugui passar.

En la fig. 17 podem observar les 5 connexions del sensor, 4 són per alimentació i la cinquena es per detectar si el feix de llum infraroja està sent obstruït.



Fig. 22 – Mesures del Sensor

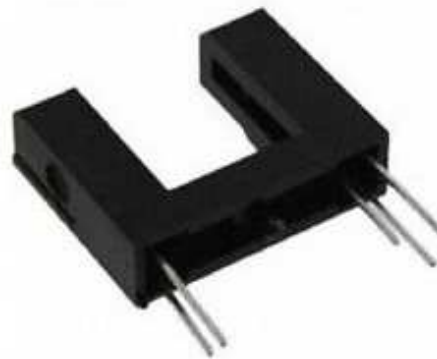


Fig. 23 – Vista en Perspectiva del Sensor

A continuació en la fig. 18 es mostra un exemple de connexionat del sensor de barrera infraroja.

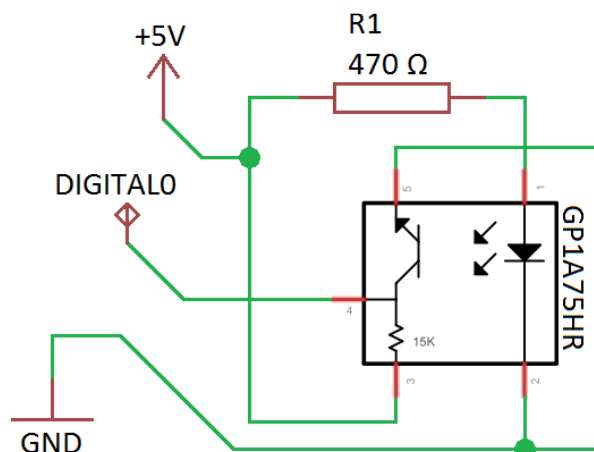


Fig. 24 – Exemple connexionat GP1A75HR

3.1.1 Diagrama d'Estats

Com s'ha mostrat prèviament la detecció del sentit d'entrada o sortida de les abelles ve definit per una seqüència de valors dels sensors presents a cada obertura. Així tenim:

- Cas de la sortida (A/B): 00 → 10 → 11 → 01 → 00
- Cas de l'entrada (A/B): 00 → 01 → 11 → 10 → 00

Es pot observar que aquest comportament s'identifica amb una seqüència de valors fàcilment definible amb un diagrama d'estats.

Un diagrama d'estat és un tipus de esquema utilitzat per a descriure el comportament de sistemes. Els diagrames d'estat requereixen que el sistema descrit estigui compost d'un nombre finit d'estats.

Quant a la representació, un diagrama d'estats és un gràfic que els nodes del qual són estats i els arcs dirigits representen transicions etiquetades amb els noms dels esdeveniments. Un estat es representa com una caixa arrodonida amb el nom de l'estat en el seu interior. Una transició es representa com una fletxa des de l'estat origen a l'estat destí.

Els diagrames d'estat s'utilitzen per donar una descripció abstracta del comportament d'un sistema. Aquest comportament és analitzat i representat en una sèrie d'esdeveniments, que podrien passar en un o més estats possibles. Normalment cada diagrama representa en general els objectes d'una sola classe i realitza un seguiment dels diferents estats dels objectes a través del sistema, el primer estat del sistema, estat de repòs o d'inici, està remarcant amb una doble circumferència.

En el nostre cas els esdeveniments que faran evolucionar el sistema són les obstruccions del feix de llum infraroja, ja que el sensor ho captarà i enviarà la senyal al microcontrolador, tal i com es mostra en la imatge del muntatge, els sensors estan marcats amb unes lletres que indiquen un ordre (A i B).

El diagrama d'estats inclou a més de la seva pròpia evolució el resultat que s'espera obtenir, en aquest cas la detecció de si s'ha produït una entrada "E" o una sortida "S". Així, associat a cada esdeveniment s'afegeix la parella "ES". D'aquesta manera quan es dona la seqüència d'entrada d'una abella al diagrama d'estats s'activarà la senyal "E" indicant aquest esdeveniment, mentre que si el que es detecta és una sortida serà la senyal "S".

Així tenim que en funció de la seqüència d'entrada o sortida els valors AB/ES seran:

- Entrada (AB/ES): 00/00 → 10/00 → 11/00 → 01/00 → **00/10**

- Sortida (AB/ES): 00/00 → 01/00 → 11/00 → 10/00 → **00/01**

Només s'activarà l'"E" o la "S" si s'ha donat la seqüència correcta d'entrada o sortida respectivament.

A continuació es representa el diagrama d'estats que identifica l'evolució del sistema quan entra una abella o quan surt per una de les obertures:

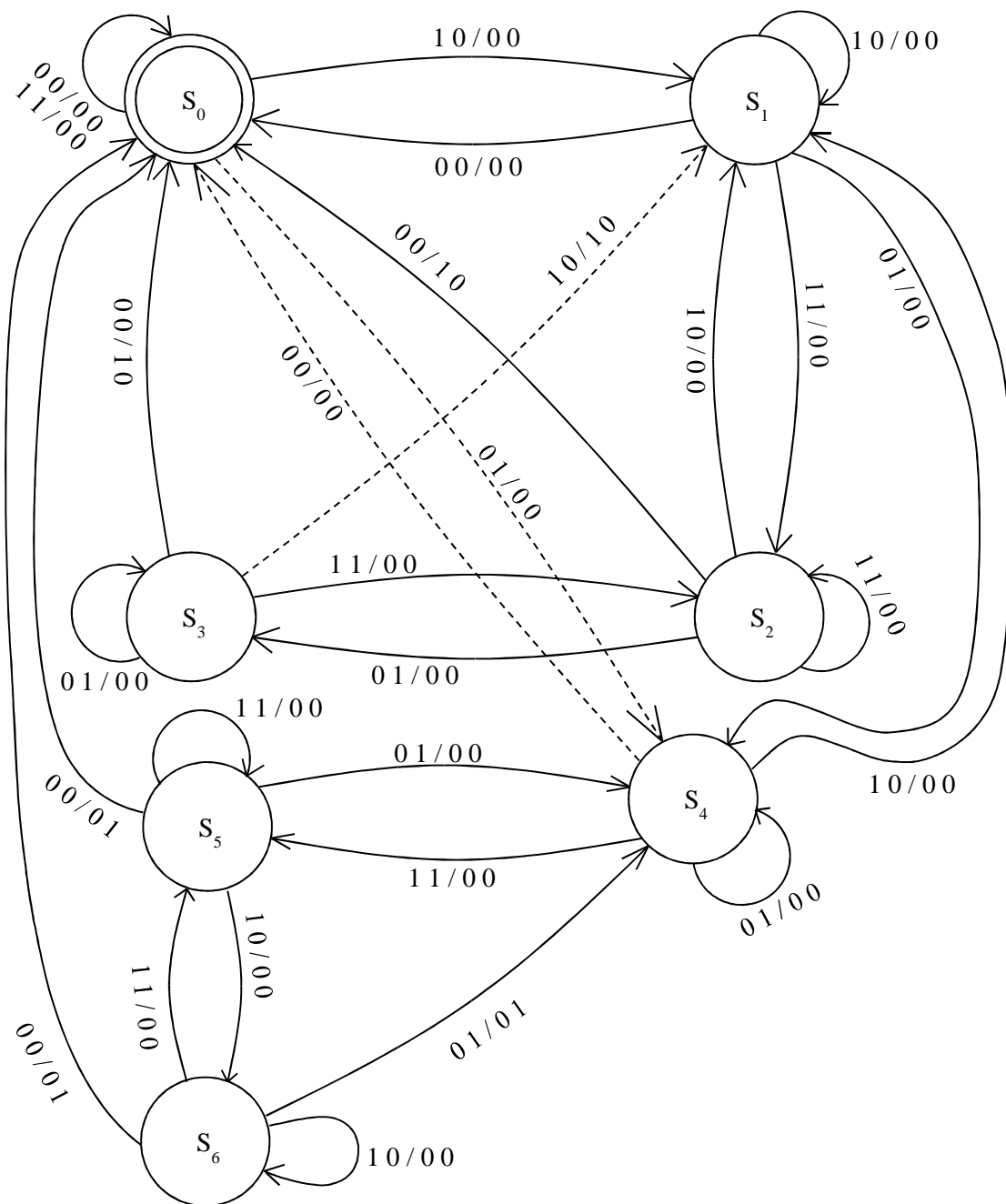


Fig. 25 – Diagrama d'estats d'entrada i sortida

En el diagrama anterior cada estat defineix la posició d'una abella en els sensors a continuació es donarà nom i explicació a aquests estats.

Estat 0 (S_0)	Estat d'espera: el sistema no percep cap moviment en els sensors.
Estat 1 (S_1)	Estat A=1: una abella es disposa a entrar al rusc.
Estat 2 (S_2)	Estat A=B=1: l'abella que vol entrar al rusc tapa els 2 sensors.
Estat 3 (S_3)	Estat B=1: l'abella deixa de tapar el sensor B i es disposa a acabar d'entrar al rusc.
Estat 4 (S_4)	Estat B=1: una abella es disposa a sortir al rusc.
Estat 5 (S_5)	Estat A=B=1: l'abella que vol sortir del rusc tapa els 2 sensors.
Estat 6 (S_6)	Estat A=1: l'abella deixa de tapar el sensor A i es disposa a acabar de sortir del rusc.

Taula. 2 – Definició d'estats

A continuació es detallarà l'evolució del diagrama d'estats pel cas concret de que una abella surt de l'arna, el cas de l'entrada és donarà de forma similar. S'indiquen en color groc l'estat actual en funció de la ubicació de l'abella.

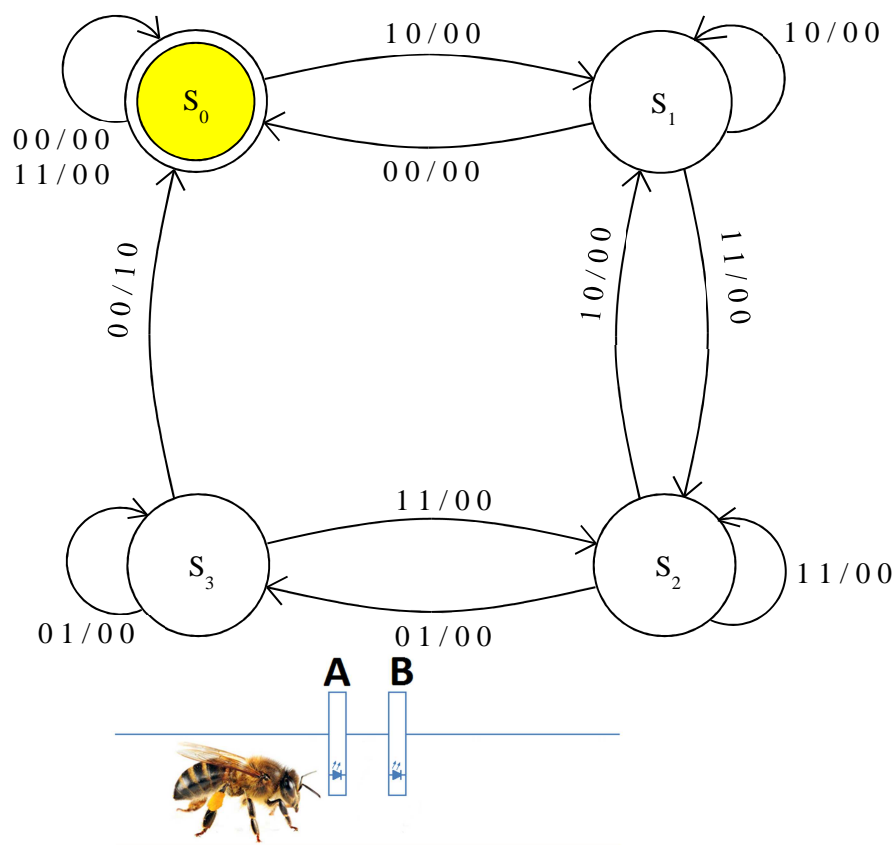


Fig. 26 – Estat 0 o d'espera A=B=0

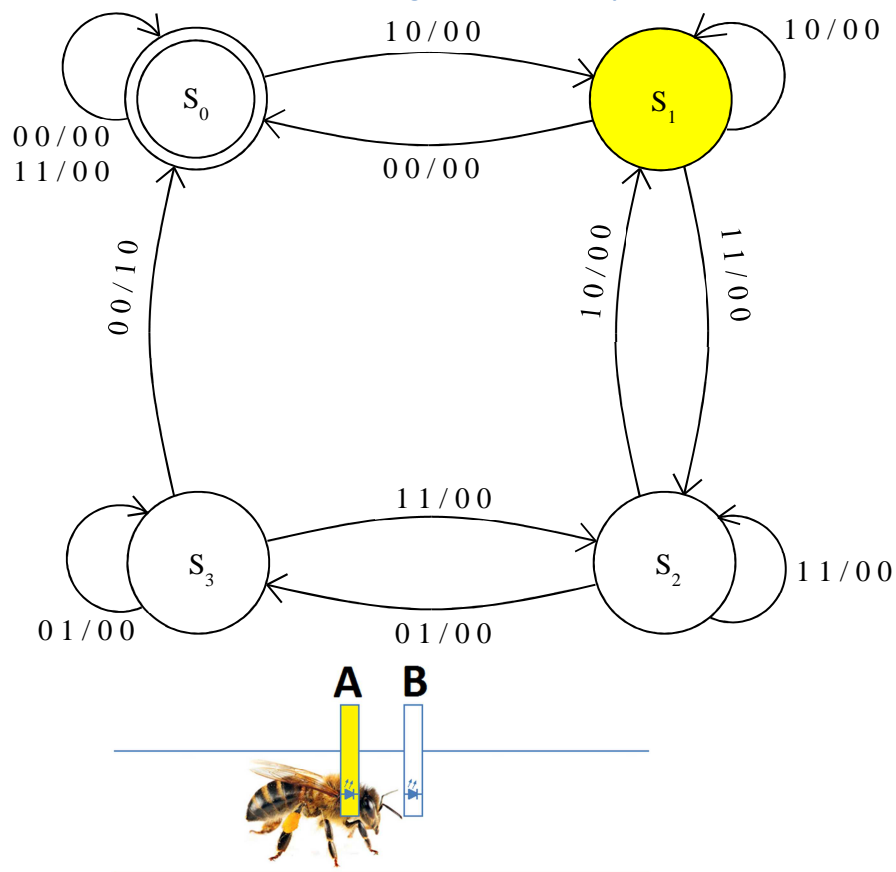


Fig. 27 – Estat 1 A=1

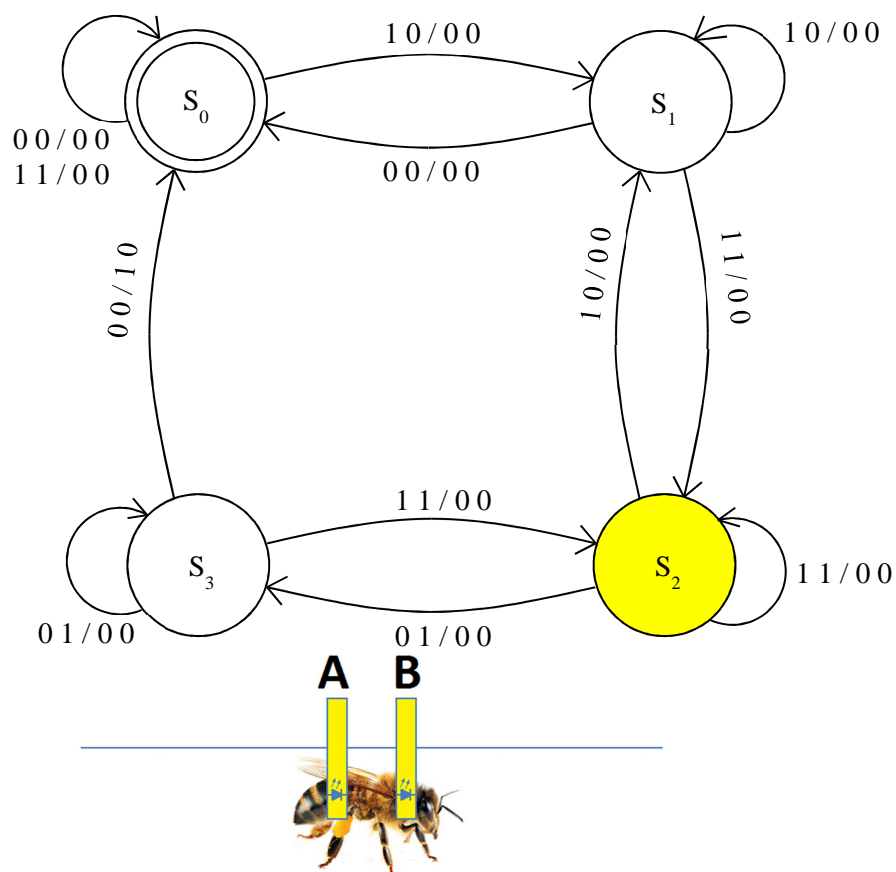


Fig. 28 – Estat 2 A=B=1

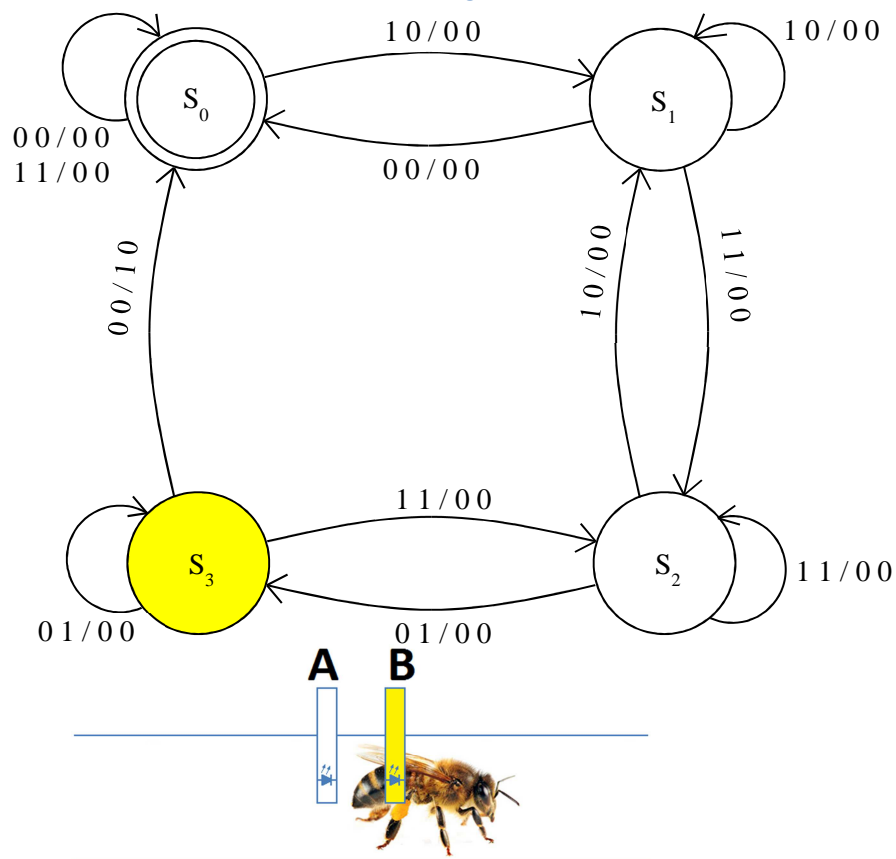
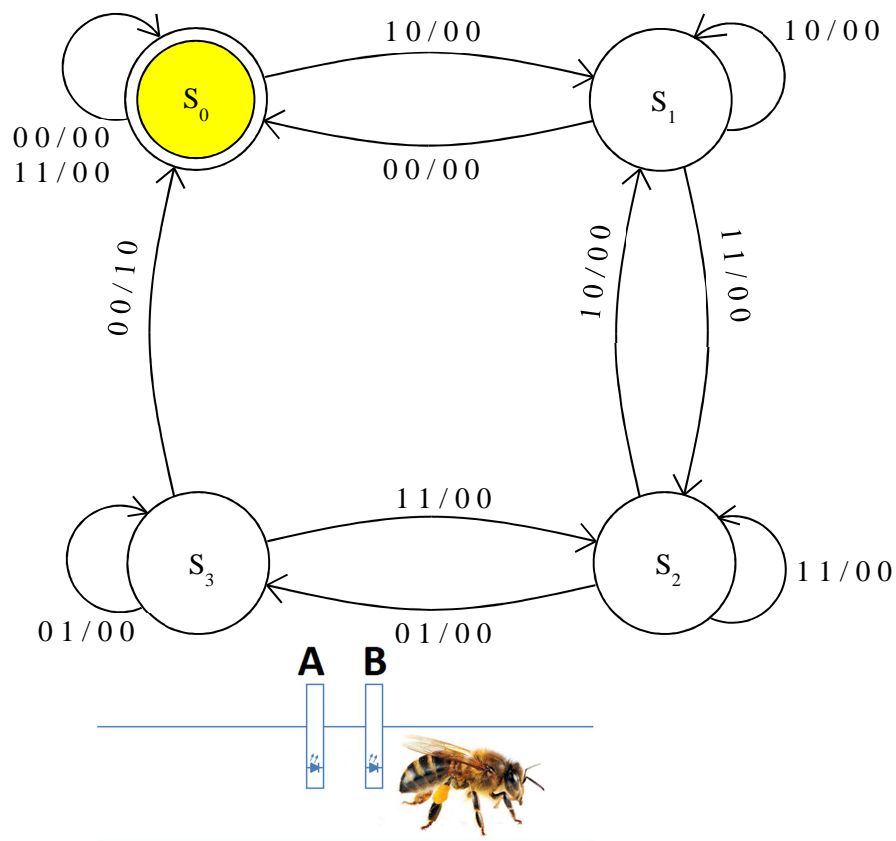


Fig. 29 – Estat 3 B=1

Fig. 30 – Estat 0 o d'espera $A=B=0$

Tal i com s'observa en les imatges l'abella passa pels dos sensors i en l'última transició el valor de "E" val "1", això indica que l'abella ha acabat de passar hi ha entrat a l'arna.

Existeixen uns casos particulars que s'han de tenir present i que es mostren a la següent figura remarcades de color groc.

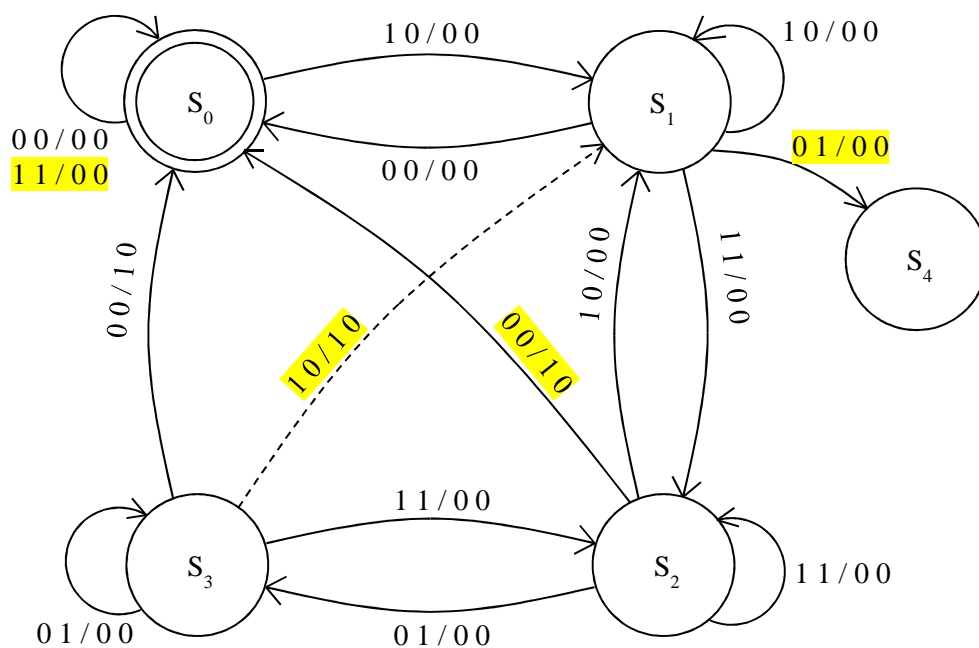


Fig. 31 – Transicions particulars

En aquests casos el sistema és difícil que es trobi, però s'han de tenir en compte per poder avaluar correctament l'entrada d'una abella, després d'explicar el funcionament normal del diagrama, A continuació s'explicaran aquests casos particulars amb imatges descriptives.

- Transició d'estat 1 a estat 4(01/00):

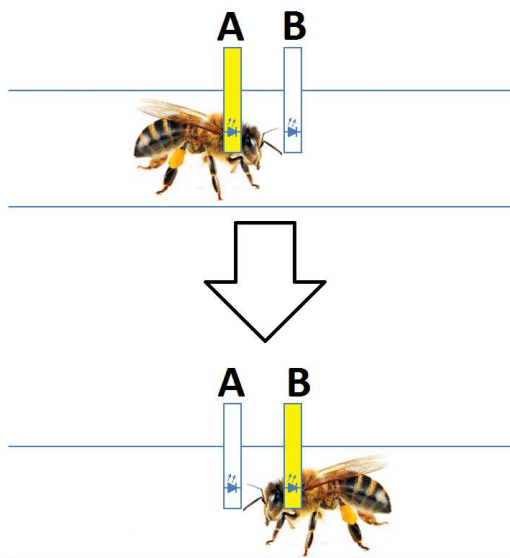


Fig. 32 – Transició particular estat 1 - estat 4

Aquesta situació es dona si una abella retrocedeix molt ràpid cap a l'exterior de l'arna i una altra es disposa a sortir. En aquest cas no es comptabilitza l'entrada d'una abella.

- Transició d'estat 2 a estat 0(00/10):

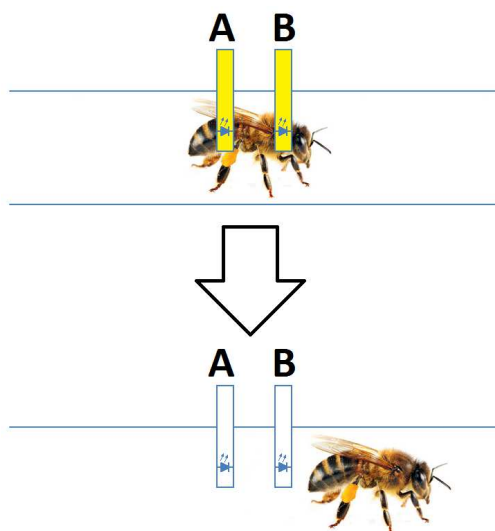


Fig. 33 – Transició particular estat 2 - estat 0

Aquesta situació es dona si l'abella entra a dins del rusc molt ràpid i els dos sensors es deixen d'obstruir a la vegada. En aquest cas es comptabilitza l'entrada d'una abella.

- Transició d'estat 3 a estat 1(10/10):

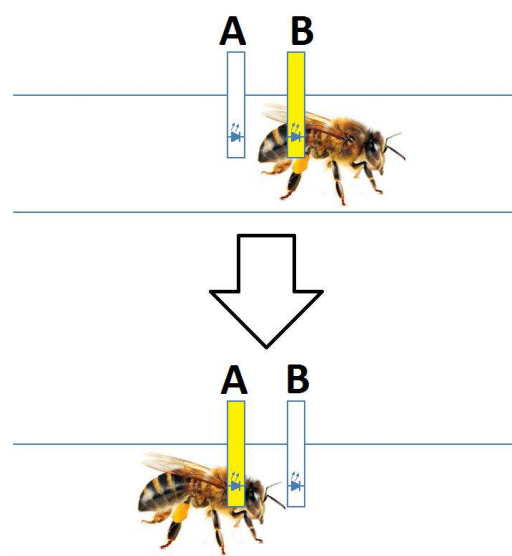
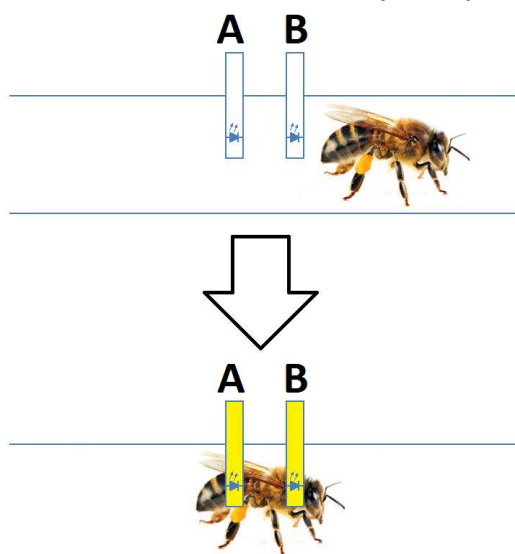


Fig. 34 – Transició particular estat 3 - estat1

Aquesta situació es dona si just quan l'abella acaba d'entrar al rusc n'hi ha una altra que ràpidament es disposa a entrar. En aquest cas es comptabilitza l'entrada d'una abella.

- Transició d'estat 0 a estat 0 (11/00):



Aquesta situació es dona si una abella entra o surt molt ràpid del rusc i no podem detectar si esta entrant o esta sortint, aquesta situació es descarta per no donar confusions.

Fig. 35 – Transició particular estat 0 - estat 0

Pel que fa a la sortida d'una abella, l'explicació es la mateixa i els cassos particulars també són iguals l'únic que canvia es que la variable que modificarà el sistema essent la variable "S".

3.2.1 Implementació del mòdul d'Entrada i Sortida de les abelles

Com s'ha indicat prèviament, per a controlar cadascuna de les entrades/sortides del rusc cal emprar una parella de sensors de barrera infraroja. Això implica la utilització de 2 pins digitals en el microcontrolador que identificaran si estan o no actives aquests dispositius. Si només hi hagués un únic conducte d'entrada o sortida al rusc, amb un parell de sensors n'hi hauria prou, però provocaria un elevat estres a les abelles al no poder accedir-hi de forma adequada. Per evitar aquest problema s'ha de proveir d'un nombre de conductes raonable al rusc per a que les abelles puguin entrar-ne i sortir-ne confortablement.

Al prototipus creat, i degut a que el rusc de proves és dimensions reduïdes, es va decidir posar 8 conductes, això implica que són necessaris 16 sensors de barrera infraroja, i en conseqüència un total de 16 entrades digitals al microcontrolador.

La plataforma escollida, l'ARDUINO UNO, té un nombre de pins digitals molt limitat que fa impossible la gestió d'aquest nombre de senyals. Per a solucionar aquesta limitació s'ha utilitzat un multiplexor que permet mapejar aquestes 16 senyals digitals a una única senyal.

Un multiplexor és un circuit lògic combinacional equivalent a un interruptor mecànic giratori de varies posicions. Permet dirigir la informació digital o analògica procedent de diverses fonts a una única font de sortida, per a ser transmesa a través d'ella.

Disposa de 2^n línies d'entrada d'informació, una única sortida i "n" entrades de selecció; que habiliten y posen en contacte un dels terminals d'entrada d'informació amb el de sortida.

Al nostre cas el multiplexor tindrà 2^4 línies d'entrada, que corresponen a les 16 senyals provinents dels sensors, una única sortida que serà tractada pel microcontrolador i 4 senyals de selecció.

Per a implementar aquest mòdul s'ha escollit el **multiplexor SN74150** [8] de Texas Instruments, aquest sensor consta de 16 pins digitals d'entrada, 4 pins digitals d'entrada de selecció, 1 pin digital de sortida, 2 pins per alimentació i un pin per activar o desactivar el multiplexor com s'observa en la fig. 36.

L'entrada "Enable" ha de rebre sempre un "0" lògic per a que el multiplexor estigui actiu.

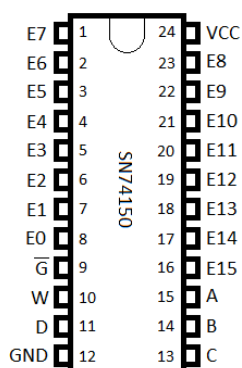


Fig. 36 – Pinout del multiplexor SN74150

A la Figura 37 es mostra un exemple del funcionament d'un multiplexor.

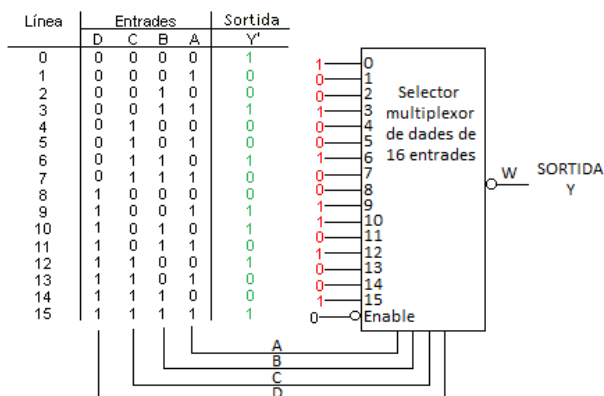


Fig. 37 – Exemple de funcionament multiplexor

Els valors lògics remarcats de color vermell, corresponen a l'estat dels sensors, un "1" lògic representa que el sensor esta actiu, es a dir, que cap abella esta interferint la barrera infraroja, i un "0" lògic significa que una abella sí que està interferint el feix de llum infraroja.

La sortida del multiplexor, de color verd, depèn del valor dels selectors A,B,C i D. La fórmula que regula la línia que s'ha de seleccionar es la següent:

$$\text{Línea} = D \cdot 2^3 + C \cdot 2^2 + B \cdot 2^1 + A \cdot 2^0$$

S'ha de tenir en compte que la sortida esta invertida lògicament, això implica que s'hauran d'interpretar els valors lògics dels sensors a l'inrevés, quan una abella interfereixi el feix de llum infraroja la sortida serà un "1" lògic i quan no, serà un "0".

Que la sortida estigui negada és un avantatge a l'hora de desenvolupar el programa ja que quan el sensor detectarà una abella, gracies al multiplexor rebrem un "1" lògic i el tractament de les dades serà mes fàcil.

A continuació es mostra el codi en C per a representar la manera com funciona un multiplexor connectat a un microcontrolador.

```
// Defines to control the selectors of the multiplexer
#define s0 3 // PIN D of the multiplexer (view datasheet)
#define s1 4 // PIN C of the multiplexer (view datasheet)
#define s2 5 // PIN B of the multiplexer (view datasheet)
#define s3 6 // PIN A of the multiplexer (view datasheet)

// Define to control the output of multiplexer
#define w0 2 // PIN W of the multiplexer (view datasheet)

void setup(void)
{
    // start serial port
    Serial.begin(9600);
    // Configure Pins 2, 3, 4, 5 as an OUTPUT to control the Multiplexer
    pinMode(s0, OUTPUT); // PIN D of the multiplexer (view datasheet)
    pinMode(s1, OUTPUT); // PIN C of the multiplexer (view datasheet)
    pinMode(s2, OUTPUT); // PIN B of the multiplexer (view datasheet)
    pinMode(s3, OUTPUT); // PIN A of the multiplexer (view datasheet)
    // Configure pin 6 as an INPUT to learn the output of the Multiplexer
    pinMode(w0, INPUT); // PIN W of the multiplexer (view datasheet)
}

void loop(void)
{
    int i;
    bool W[16];

    for( i = 0; i < 16; i++) {
        // Seleccionem la línia del multiplexor
        digitalWrite(s0, i & B1000);
        digitalWrite(s1, i & B0100);
        digitalWrite(s2, i & B0010);
        digitalWrite(s3, i & B0001);
        // Guardem el valor de la sortida en un vector
        W[i] = digitalRead(w0);
    }
}
```

```
for( i = 0; i < 16; i++) {  
  // Observem el valor de totes les línies del multiplexor  
  Serial.print(W[i]);  
}  
}
```

Fig. 38 – Codi font exemple multiplexor + sensors GP1A75HR

El vector W emmagatzema tots els valors de les entrades digitals del multiplexor. Per a seleccionar la entrada primer escrivim als pins de selecció el valor binari de la línia que volem seleccionar.

3.3 Pantalla LCD [9]

Per a que l'apicultor pugui visualitzar els diferents paràmetres monitoritzats s'ha afegir al prototipus una pantalla LCD de 16 columnes i 2 files que mostra en format reduït les dades capturades, tal i com mostra la fig. 39.

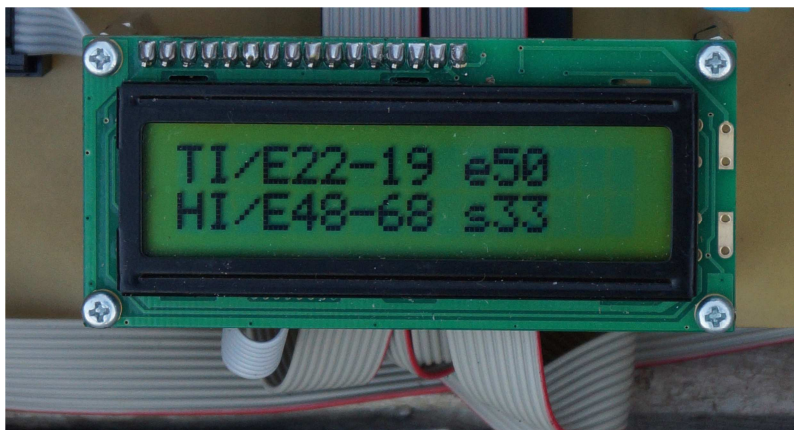
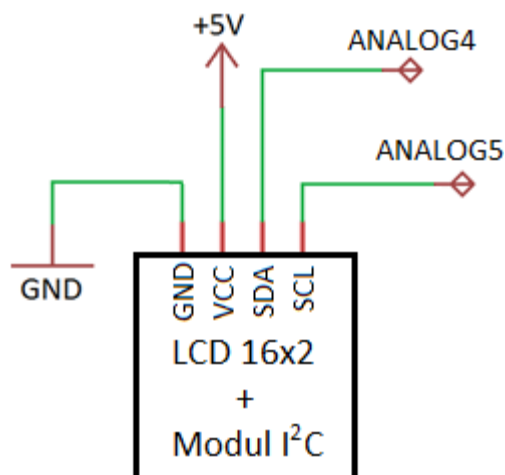


Fig. 39 – Pantalla LCD 16x2

Per a evitar el problema de la limitació del nombre de pins disponibles, la pantalla utilitzada conte un mòdul de comunicació sèrie I²C que permet la comunicació amb el microcontrolador amb només dos senyals. A més, la configuració del microcontrolador està disposada de manera que aquestes dues senyals es troben assignades a dos pins d'entrada analògica la qual cosa es molt útil ja que no requereix la utilització de pins digitals.

A continuació es mostra un exemple de connexionat de la pantalla LCD amb el mòdul I²C i l'ARDUINO fig. 40, i el codi en llenguatge C del funcionament de la pantalla fig. 41.

Fig. 40 – Exemple connexionat Pantalla LCD + mòdul I²C

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#define BACKLIGHT_PIN    13

LiquidCrystal_I2C lcd(0x38); // Set the LCD I2C address

//LiquidCrystal_I2C lcd(0x38, BACKLIGHT_PIN, POSITIVE); // Set the LCD I2C address

// Creat a set of new characters
const uint8_t charBitmap[][8] = {
  { 0xc, 0x12, 0x12, 0xc, 0, 0, 0, 0 },
  { 0x6, 0x9, 0x9, 0x6, 0, 0, 0, 0 },
  { 0x0, 0x6, 0x9, 0x9, 0x6, 0, 0, 0x0 },
  { 0x0, 0xc, 0x12, 0x12, 0xc, 0, 0, 0x0 },
  { 0x0, 0x0, 0xc, 0x12, 0x12, 0xc, 0, 0x0 },
  { 0x0, 0x0, 0x6, 0x9, 0x9, 0x6, 0, 0x0 },
  { 0x0, 0x0, 0x0, 0x6, 0x9, 0x9, 0x6, 0x0 },
  { 0x0, 0x0, 0x0, 0xc, 0x12, 0x12, 0xc, 0x0 }
};

void setup()
{
  int charBitmapSize = (sizeof(charBitmap) / sizeof(charBitmap[0]));

  // Switch on the backlight
  pinMode ( BACKLIGHT_PIN, OUTPUT );
  digitalWrite ( BACKLIGHT_PIN, HIGH );

  lcd.begin(16,2); // initialize the lcd

  for ( int i = 0; i < charBitmapSize; i++ )
  {
    lcd.createChar ( i, (uint8_t *)charBitmap[i] );
  }

  lcd.home (); // go home
  lcd.print("Hello, ARDUINO ");
  lcd.setCursor ( 0, 1 ); // go to the next line
  lcd.print ( " FORUM - fm  ");
  delay ( 1000 );
}
```

```
void loop()
{
  lcd.home ();
  // Do a little animation by writing to the same location
  for ( int i = 0; i < 2; i++ )
  {
    for ( int j = 0; j < 16; j++ )
    {
      lcd.print (char(random(7)));
    }
    lcd.setCursor ( 0, 1 );
  }
  delay (200);
}
```

Fig. 41 – Codi font exemple pantalla LCD 16x2

L'exemple mostra a la pantalla LCD "Hello, ARDUINO " a la primera fila i " Forum – fm" a la segona fila, passat 1 segon mostra una petita animació amb la funció "random".

3.4 Memòria SD [10]

Per a poder analitzar el comportament de les abelles durant les proves en les arnes s'han d'enregistrar en una memòria externa que tingui prou capacitat d'emmagatzematge. Per a fer-ho s'ha decidit fer-ho sobre una targeta SD on s'aniran depositants els valors de tots els paràmetres que ens interessa avaluar.

Això permet extreure la targeta sense haver de desmuntar el prototipus del seu lloc de treball i amb un simple canvi de targeta mantenir-lo funcionant.

Per a dotar al prototipus de la capacitat de fer servir aquest dispositiu s'ha afegit una placa extensió que capacita al sistema accedir a la memòria SD extraïble, a continuació es mostrarà una imatge de la extensió i de la memòria SD utilitzada(fig. 42).

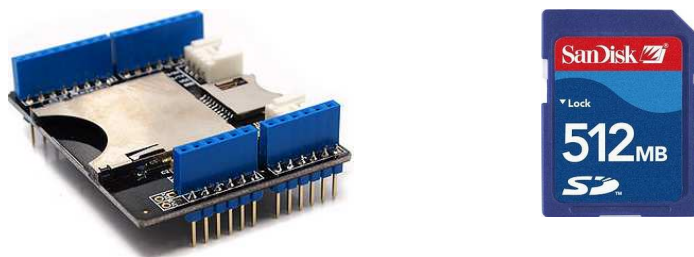


Fig. 42 – Vistes de la extensió i de la memòria SD

Aquest mòdul es basa en comunicació segons el protocol SPI que requereix d'un total de 4 pins digitals, a continuació es mostrarà un exemple de connexionat de la targeta SD amb l'ARDUINO UNO (fig. 43).

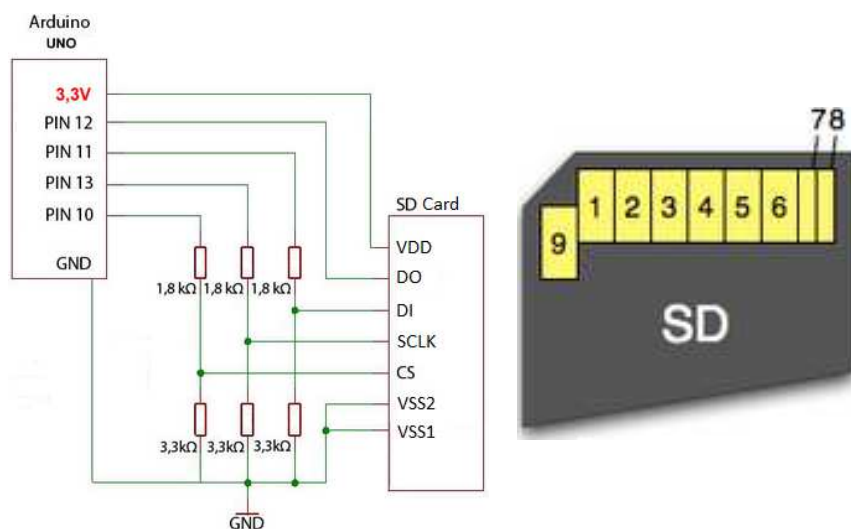


Fig. 43 – Exemple connexionat memòria SD

Pin	Nom	Mode SPI
1	CS	Chip Select/Slave Select
2	DI	Master Out Slave In (MOSI)
3	VSS1	Ground
4	VDD	Supply Voltage (3,3V)
5	SCLK	Clock (SCK)
6	VSS2	Ground
7	DO	Master In Slave Out (MISO)
8	IRQ	Unused or IRQ*
9	NC	Unused

Taula. 3 – Definició pins memòria SD

*IRQ: aquest pin pot ser utilitzat per a gestionar interrupcions de la SD.

La targeta emprada disposa de 512MB de memòria que es mes que suficient per emmagatzemar les dades que s'han de recopilar.

A continuació es mostra un exemple, en llenguatge C, de l'accés a la memòria SD (fig. 44).

```
// SD card read/write
// This example shows how to read and write data to and from an SD card file

#include <SPI.h>
#include <SD.h>

File myFile;

void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Open serial communications and wait for port to open:

  Serial.print("Initializing SD card...");
  pinMode(10, OUTPUT);

  if (!SD.begin(10)) {
    Serial.println("initialization failed!");
  }
}
```

```
    return;
}
Serial.println("initialization done.");

// open the file. note that only one file can be open at a time,
// so you have to close this one before opening another.
myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);

// if the file opened okay, write to it:
if (myFile) {
    Serial.print("Writing to test.txt...");
    myFile.println("testing 1, 2, 3.");
    // close the file:
    myFile.close();
    Serial.println("done.");
} else {
    // if the file didn't open, print an error:
    Serial.println("error opening test.txt");
}

// re-open the file for reading:
myFile = SD.open("test.txt");
if (myFile) {
    Serial.println("test.txt:");

    // read from the file until there's nothing else in it:
    while (myFile.available()) {
        Serial.write(myFile.read());
    }
    // close the file:
    myFile.close();
} else {
    // if the file didn't open, print an error:
    Serial.println("error opening test.txt");
}
}

void loop()
{
    // nothing happens after setup
}
```

Fig. 44 – Codi font exemple memòria SD

3.5 Microcontrolador - ARDUINO

Fins ara s'han presentat els components bàsics que permetran la captura i presentació de les dades a monitoritzar. Aquest apartat es presentarà el component principal que permetrà fer-los funcionar i que és el cor del prototipus a desenvolupar.

Al mercat existeixen un gran ventall de plataformes basades en microcontroladors i d'entre totes elles la plataforma escollida ha estat l'ARDUINO i dintre de tota la família de productes en concret l'ARDUINO UNO Rev.2 [11].

ARDUINO es una plataforma denominada open hardware que a una petita placa de circuit imprès (PCB) conté tots els components necessaris per a interactuar amb el seu entorn. Està basat en el microcontrolador Atmega, en concret a la versió escollida, l'Atmega ATmega328P. Aquest microcontrolador té una freqüència de treball de

16Mhz, i consta de 13 pins digitals i 6 pins analògics, tots aquests pins poden treballar per a llegir voltatges (Mode INPUT) o per generar voltatges (Mode OUTPUT).

La següent figura mostra la disposició dels seus components.

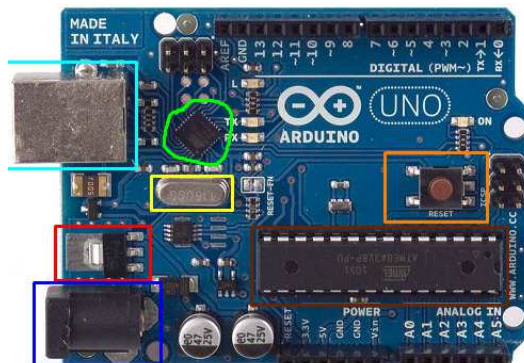


Fig. 45 – Arduino UNO Rev.2

Color	Component
Blau fluix	Connexió USB
Blau Fort	Alimentació Externa 9-12V
Vermell	Adaptador de voltatge 9-15V a 5V
Groc	Rellotge
Verd	Programador Microcontrolador
Taronja	Boto Reset
Marro	Microcontrolador

Taula. 4 – Disposició dels components de l'Arduino UNO rev. 2

Les especificacions tècniques són:

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)

EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Taula. 5 – Especificacions tècniques de l'Arduino UNO rev. 2

La plataforma ARDUINO, no només defineix els components físics associats al microcontrolador i els seus perifèrics, si no que a més incorpora un entorn de desenvolupament que inclou un compilador (C/C++), i les eines de programació del propi microcontrolador. Tot això es distribueix amb llicència lliure sense cap cost d'utilització, fent que sigui un entorn barat de prototipatge. Existeixen plataformes amb molta més capacitat de còmput o d'entrades i sortides, però que requereixen de la compra de llicències de desenvolupament.

També cal remarcar la gran difusió d'ARDUINO a fet que existeixi un enorme col·lectiu de desenvolupadors al que accedir i trobar resposta i solucions als possibles problemes que es puguin donar.

Pels motius abans esmenats aquesta ha estat la plataforma escollida i que es poden resumir en:

- Plataforma Open-Hardware
- Entorn IDE disponible, senzill i gratuït
- Facilitat de programació i d'accés als dispositius, sensors, actuadors, etc.
- Gran quantitat de documentació i ampla comunitat de desenvolupadors

3.6 Prototipus final

El prototipus final està format per tres mòduls diferenciats:

- *Sistema de control.* Conté el microcontrolador, la pantalla LCD, el mòdul de la targeta SD i el sensor de temperatura/humitat extern i el multiplexor.
- *Mòdul de temperatura/humitat intern.* Aquest mòdul conté un sensor DHT11 que es localitzarà dins de l'arna i es trobarà connectat al sistema de control mitjançant un cable.
- *Mòdul de control d'entrada i sortida de l'arna.* Aquest mòdul inclourà els sensors d'infrarojos. Es connectarà al sistema de control fent servir una cinta de cable paral·lel.

A la continuació, a la fig., es mostra esquemàticament els diferents mòduls i la seva interconnexió.

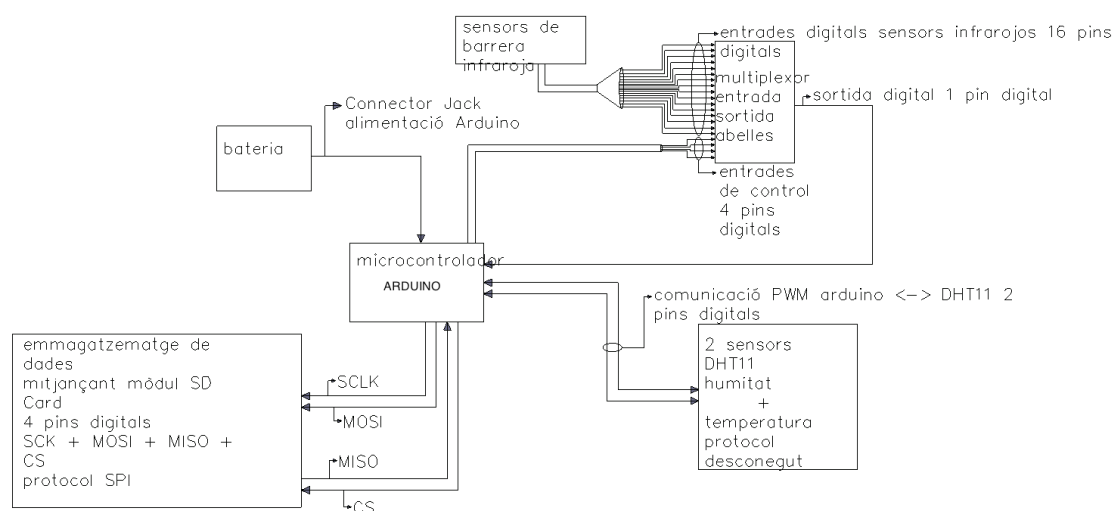


Fig. 46 – Esquema dels mòduls del prototipus

A més per a cadascun dels mòduls s'ha dissenyat la corresponent placa PCB on anirà soldat cadascun dels component. Als annexos es troben els plànols d'aquets.

Cas especial és el del mòdul de control d'entrada i sortida, ja que s'ha tingut que dissenyar un component mecànic que forces a les abelles a passar pel mig dels sensors. La següent foto mostra com és aquest dispositiu. Als annexos es trobar la representació de l'esquema amb les cotes.

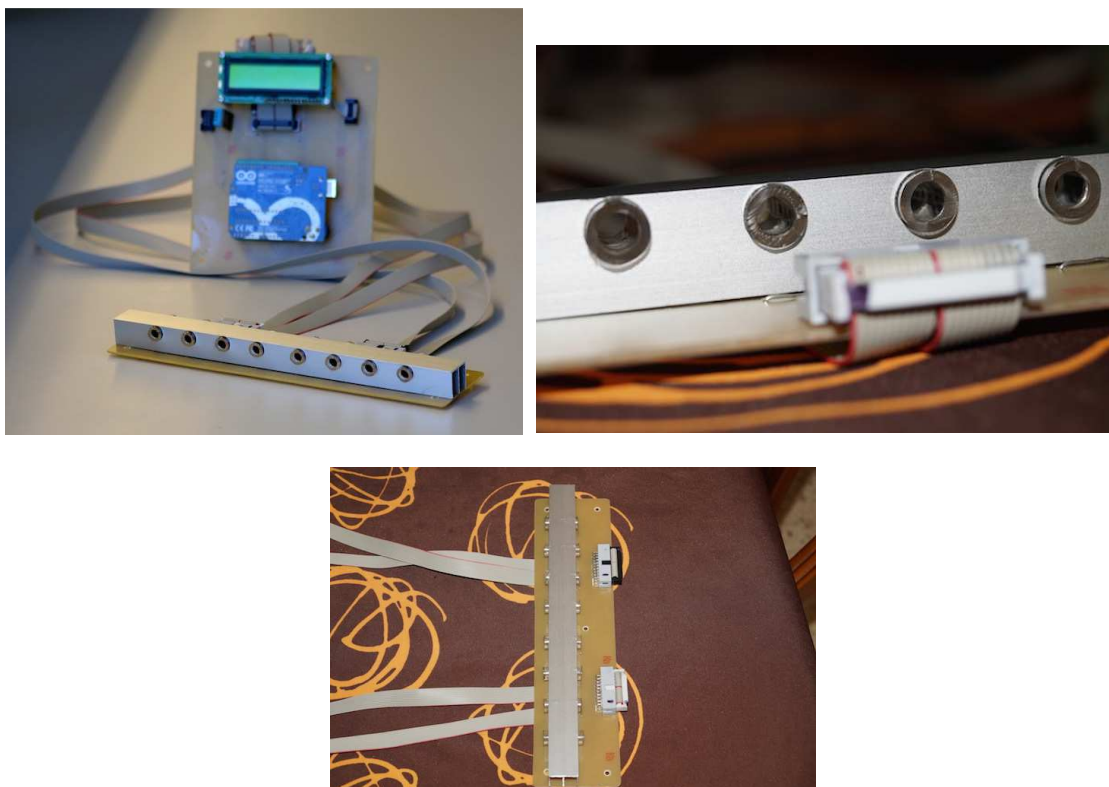


Fig. 47 – Mòdul d'entrada i sortida de les abelles.

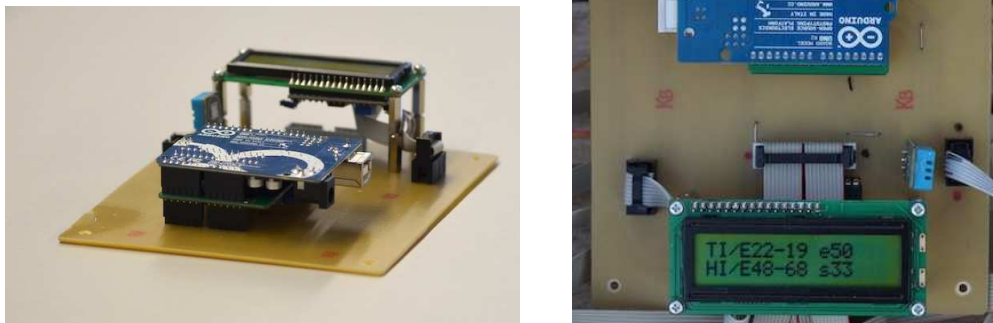


Fig. 48 – Mòdul – Sistema de control.

4 Programació del prototipus

La programació del microcontrolador es la part més important pel funcionament del prototip, en aquest apartat, primer s'explicarà de quina manera es gestionaran les dades que s'adquireixen de les lectures dels sensors, com s'emmagatzemen a més del format en que s'escriuen a la targeta SD.

A continuació es representarà el diagrama de flux que interpreta l'estructura del programa que s'executarà en el microcontrolador. Al CD que acompanya aquesta memòria es pot trobar el codi que implementa aquest diagrama de flux.

4.1 Gestió de Dades

Per a la gestió eficient de les dades cal diferenciar la naturalesa dels paràmetres que s'estan monitoritzant. Al cas de les temperatures i de les humitats s'ha de tenir present que la seva variació mai es donarà de forma sobtada si no que anirà variant en el temps. A més la resolució dels dispositius emprats permet que la captura de les dades no hagi de ser continua si no que es pot fer de forma temporitzada.

Pel contrari, l'entrada i sortida de les abelles és un paràmetre que requereix d'una monitorització exhaustiva, per a evitar que els valors no siguin correctes. Així, el sistema pren mesures de temperatura i humitat cada 90 segons, mentre que el control de l'entrada i sortida es du a terme de forma continua.

La component més crítica del sistema correspon a l'escriptura de les dades a la targeta SD. Aquest procés requereix d'un temps enorme en comparació a la resta d'accions que s'han de dur a terme. Per aquest motiu, el sistema anirà acumulant dades i cada 1800 segons es procedirà a l'escriptura de les dades a la targeta.

Totes les dades que es recopilen dels sensors s'emmagatzemen temporalment en vectors per a facilitar el seu processat i quan els vectors es troben plens amb les dades capturades es procedeix al seu emmagatzematge. A continuació es presenten en forma de taula definint les seves característiques.

	Mida de cada posició	Rang	Escriptura en Codi C
Temperatura Interna	2 bytes	$-2^{15}-(2^{15}-1)$	int
Temperatura Externa	2 bytes	$-2^{15}-(2^{15}-1)$	int
Humitat Interna	1 byte	0–255	byte
Humitat Externa	1 byte	0–255	byte
Comptador Entrada d'Abelles	4 bytes	$0-(2^{32}-1)$	unsigned long int
Comptador Sortida d'Abelles	4 bytes	$0-(2^{32}-1)$	unsigned long int

Pel que fa als paràmetres de temperatura i humitat els valors llegits dels sensors s'emmagatzemen directament al vector corresponent. Pel contrari els comptadors d'abelles cada vegada que s'emmagatzemen es reinicia a 0, de forma que el que es troba a cada posició és el nombre d'abelles entrant o sortint relatiu a la posició prèvia del vector.

La informació que s'emmagatzema a la targeta SD té format de text pla i delimitat en columnes de forma adequada per a que sigui fàcilment tractat per qualsevol programari extern.

A continuació es mostra aquest format del fitxer que es genera.

```
Temperatura Interna;Temperatura Externa;Humitat Interna;Humitat Externa;Entrada;Sortida;
22;22;38;43;0;0;
22;23;39;43;0;0;
22;23;39;43;0;1;
22;23;39;43;0;0;
22;23;39;43;0;0;
22;23;39;43;0;0;
```

Aquest té una estructura de columnes que representen les següents dades:

- Temperatura interna de l'arna.
- Temperatura externa de l'arna.
- Humitat interna de l'arna.
- Humitat externa de l'arna.
- Nombre d'abelles que han entrat des de l'última escriptura al fitxer.
- Nombre d'abelles que han sortit des de l'última escriptura al fitxer.

L'hora d'inici de les proves ve determinat pel moment de creació del fitxer i a partir d'aquí s'ha de tenir present que cada la cadència d'escriptura de cada línia al fitxer de text és de 30minuts.

4.2 Diagrama de Flux

4.1.1 Procés d'inicialització

Al posar-se en marxa el prototipus el primer que es fa és definir les variables globals amb els seus valors inicials, a més de preparar el conjunt de pins d'entrada i sortida, amb la configuració adequada per a ser emprats. A més es prepara el sistema de gestió de les interrupcions per a poder emmagatzemar les dades a la targeta SD.

Aquest procés només es realitza una única vegada.

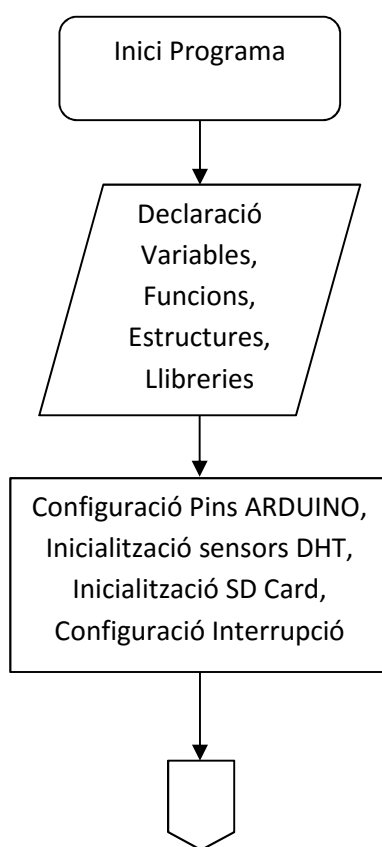


Fig. 49 – Procés d'inicialització

4.1.2 Bucle principal del programa

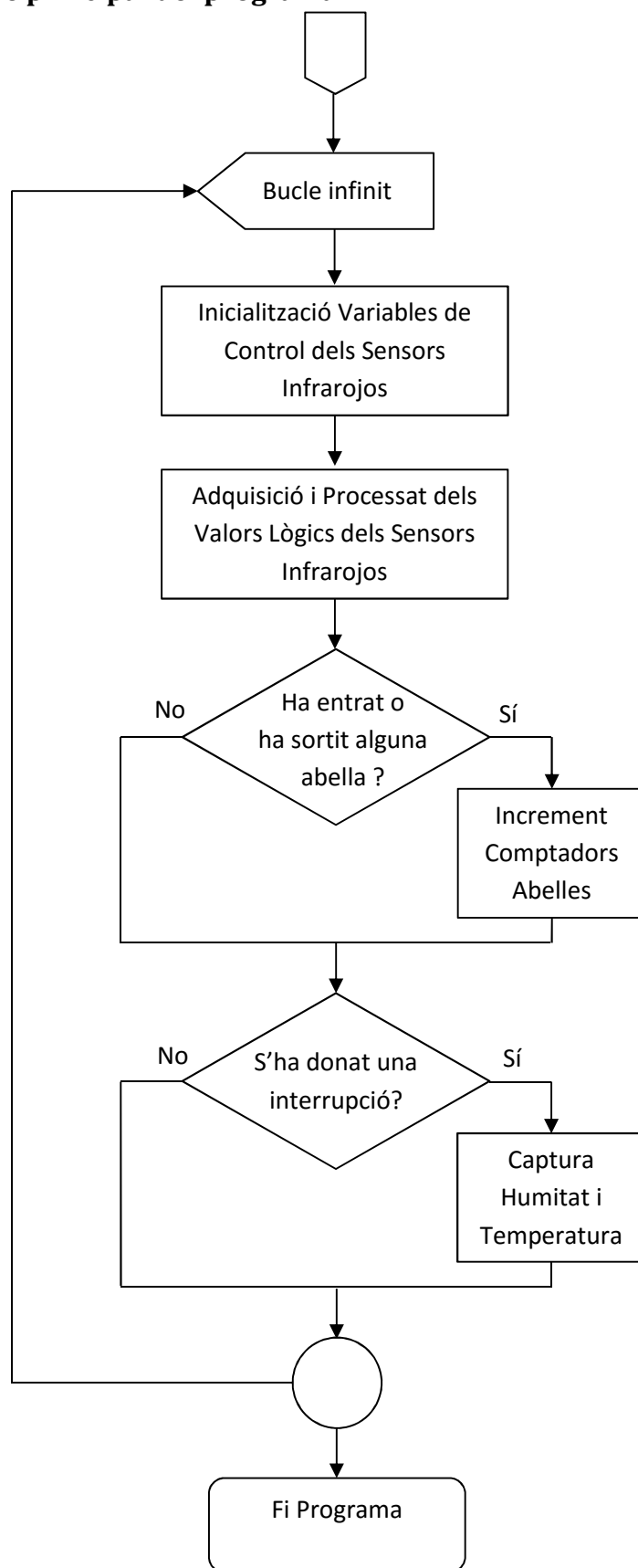


Fig. 50 – Bucle principal del programa

En aquest bucle es procedeix principalment al control del diagrama d'estats que defineix el comportament d'entrada i sortida de les abelles. S'adquireixen tots els valors dels sensor d'infrarojos i es determina si s'ha de comptabilitzar o no entrades o sortides de les abelles.

El procés de les interrupcions s'expliquen a continuació, però indicar que a cada volta del bucle principal es determina si s'ha produït o no una interrupció, i si és així ha quedat remarcada i és llavors quan s'ha de prendre una mostra de temperatura i humitat dels sensors DHT. Això es realitza cada 90 segons i cada 20 interrupcions es procedeix a enregistrar les dades obtingudes a la memòria SD. Com es pot observar l'escriptura a la SD es realitza cada 30 minuts (90segons x 20 interrupcions), això es degut a que l'escriptura a la memòria SD es lenta i s'intenta que afecti el menys possible al control de l'entrada i sortida d'abelles.

4.1.3 Gestió de les interrupcions

Cada 90 segons es produeix una interrupció que l'únic que fa és activar un flag per a indicar que aquesta s'ha donat i així més endavant procedir a fer la gestió associada als sensors d'humitat i temperatura. Això es fa d'aquesta manera per a evitar consumir massa temps ja que s'ha de donar la màxima prioritat al control dels sensors d'infrarojos que determinen el moviment de les abelles.

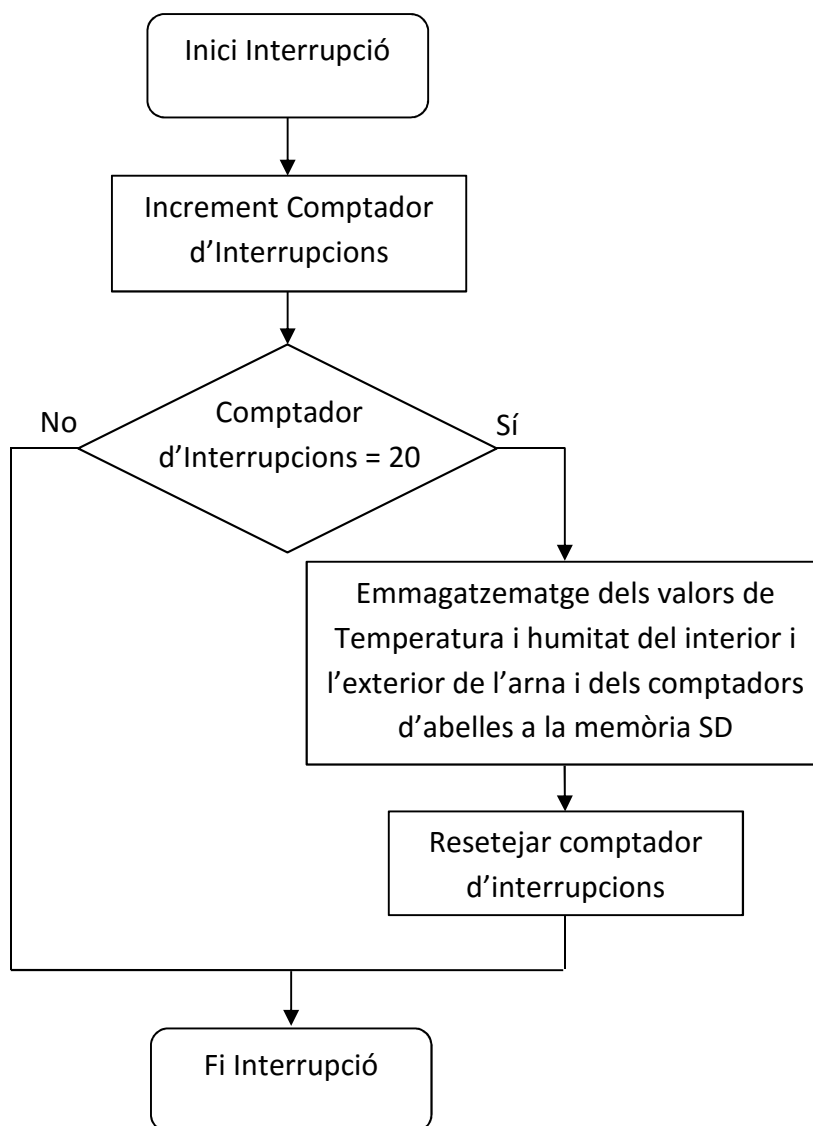


Fig. 51 – Control de les interrupcions

5 Proves de Camp

En aquest apartat s'avaluarà el seu consum elèctric, s'explicarà com s'ha instal·lat el prototip al rusc, i finalment es representaran unes gràfiques que resumeixen els resultats obtinguts.

5.1 Avaluació del consum elèctric

Fent servir un multímetre s'ha mesurat el consum elèctric del prototipus i s'ha determinat que és de 230mA amb la pantalla engegada, sense la pantalla només 220mA.

Tanmateix a les proves de camp es va desactivar l'ús de la pantalla degut a que l'escriptura en ella consumeix massa temps de processament.

5.2 Instal·lació del prototipus

La instal·lació del prototipus s'ha realitzat a una arna de capacitat de 6 panells, dels quals les abelles n'ocupaven 4, es tractava d'un nucli d'abelles. A la següent fotos es mostra com va quedar.



Fig. 52 – Muntatge del prototipus

A la següent foto es mostra el sistema d'obertures per a l'entrada i sortida de l'arna i com va queda ubicada.



Fig. 53 – Vista de les obertures d'entrada i sortida a l'arna

En aquesta última foto es mostra l'entorn global de les proves de camp.



Fig. 54 – Entorn de les proves de camp

5.3 Prova de Camp 1

La primera prova de camp es va realitzar el 14 de juliol i amb una bateria de 7AH i de 12V, això va permetre capturar un total de 21 hores de dades.

5.3.1 Resultats

A la primera gràfica es mostra l'evolució de la temperatura interna i externa. Es pot observar que a partir del mig dia hi va haver un augment significatiu d'aquesta.

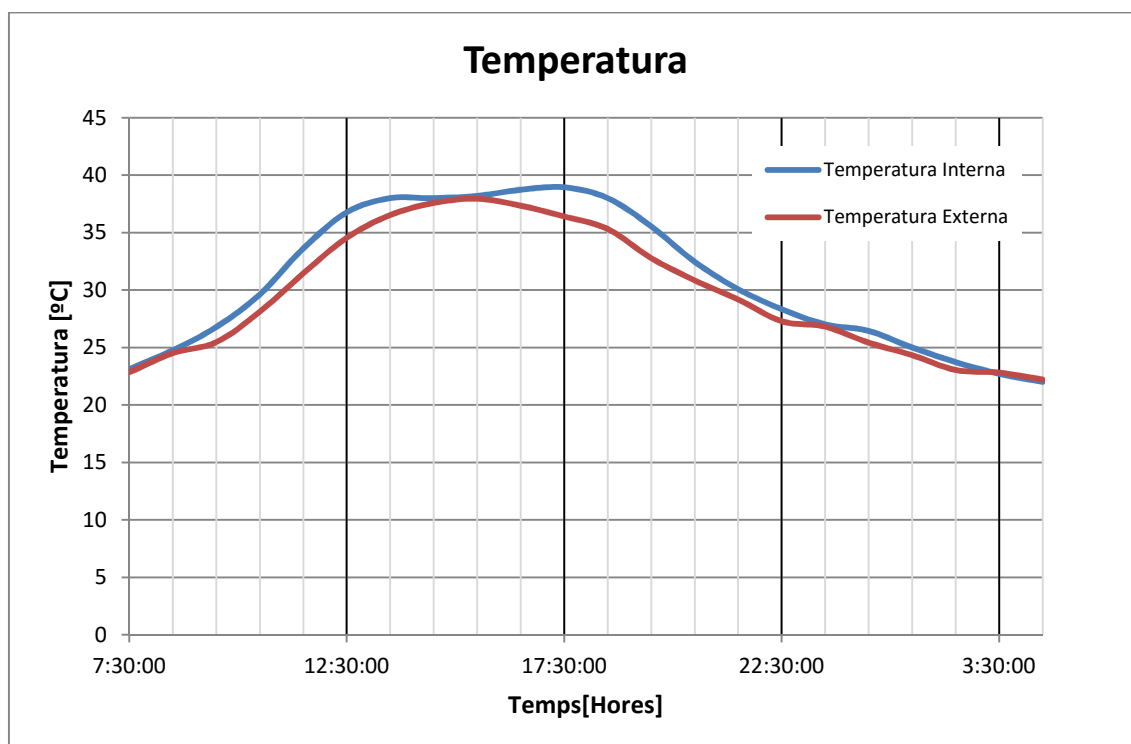


Fig. 55 – Evolució de la temperatura

A continuació es mostra l'evolució de la humitat interna i externa. Es pot observar com a les hores de major temperatura la humitat disminueix.

En aquestes dues proves s'ha comprovat que les diferències internes i externes d'ambdós paràmetres tenen poques diferències, això pot ser degut a la ubicació dels sensor intern que potser s'hauria d'ubicar més en dins de l'arna.

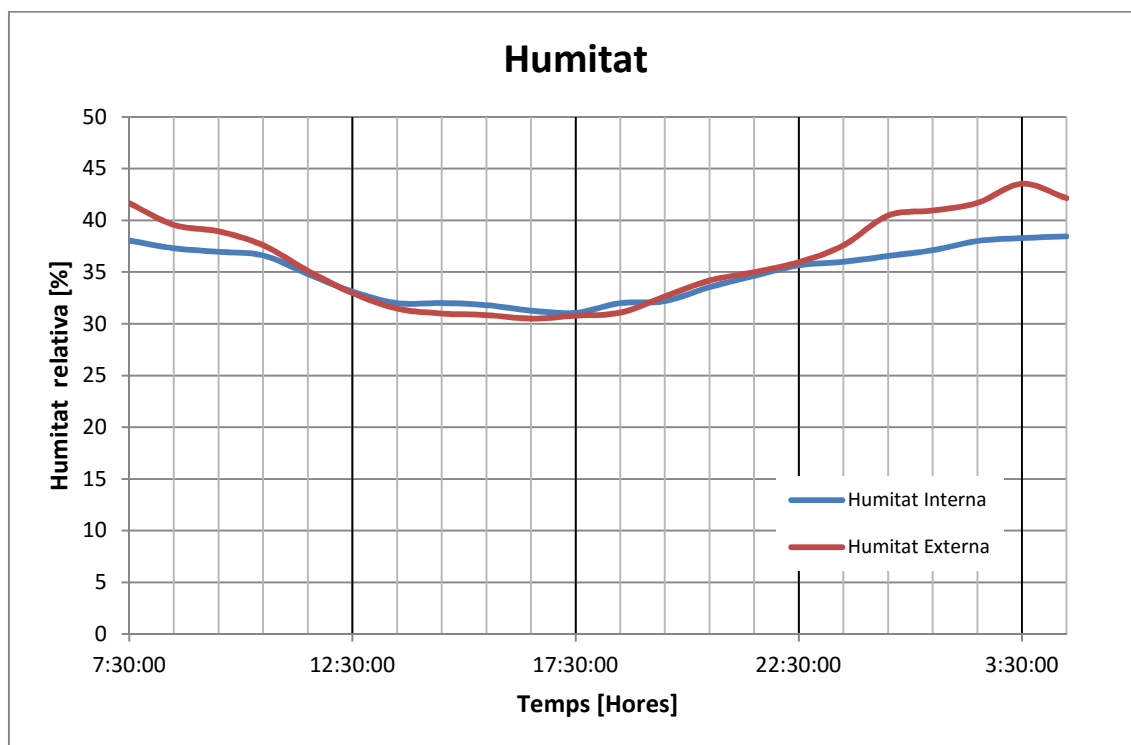


Fig. 56 – Evolució de la humitat

A la gràfica, fig. 54, es mostra l'evolució de les entrades i sortides de les abelles. Es va notar un comportament estrany ja que a partir de les 10h i fins a les 17h30 aproximadament no hi va haver moviment d'abelles entrants i sortints, tal i com s'observa.

Per a intentar clarificar el motiu, s'ha afegit a la gràfica els valors de temperatura interna de l'arna, línia de color verd. Es pot comprovar que coincideixen amb l'interval de major temperatura. Aquest podria ser un factor que expliqui el motiu, ja que les abelles quan detecten una elevada temperatura dins de l'arna procedeixen a ventilar-la.

Tanmateix també ens vàrem plantejar la possibilitat d'un mal funcionament del prototipus a altes temperatures, encara que tots els components emprats tenen un rang de temperatura de treball que excedeix en molt als donats a les proves.

A la segona prova de camp s'intenta clarificar aquest punt.

5.4 Prova de Camp 2

En aquesta segona prova de camp s'ha fet servir una bateria de major capacitat, 130Ah, que dona una autonomia de 650 hores (27 dies complets). La idea és intentar clarificar el comportament observat a la prova anterior a l'entrada i sortida.

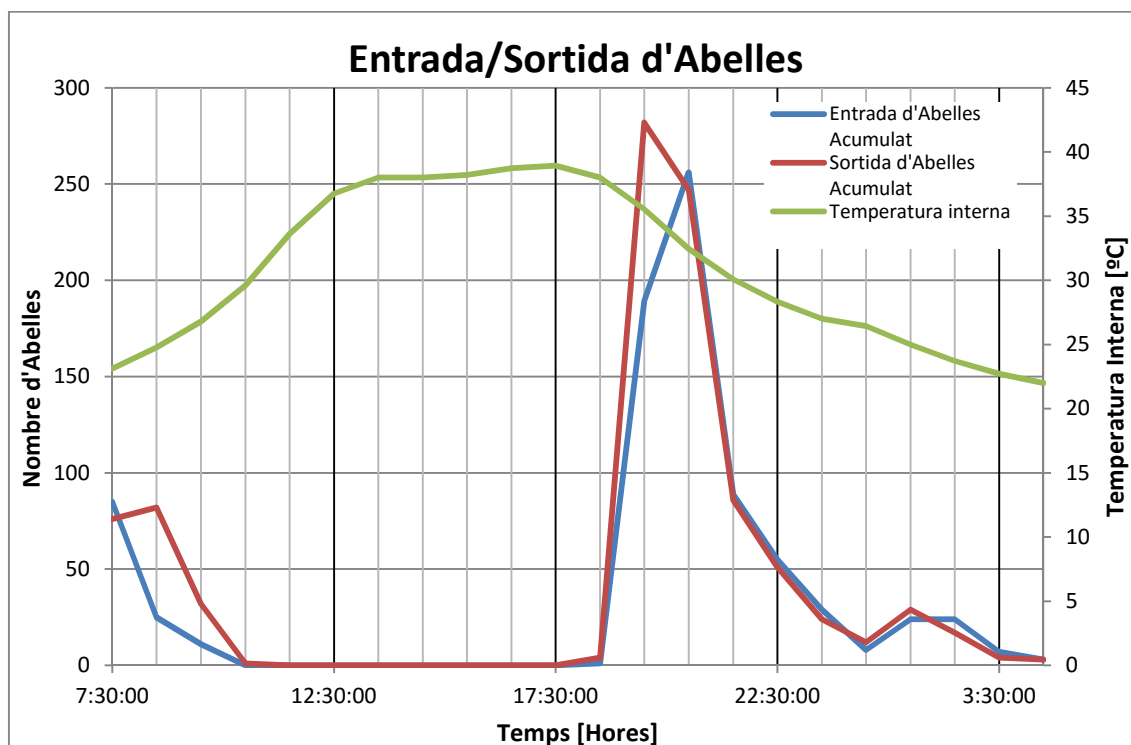


Fig. 57 – Evolució de l'entrada i sortida i correlació amb la temperatura

La durada real d'aquesta prova ha estat de 68 hores, des del 14 al 17 de setembre.

5.4.1 Resultats

A l'igual que a la primera prova de camp també es mostren els resultat de temperatura, fig. 55, i humitat fig. 56.

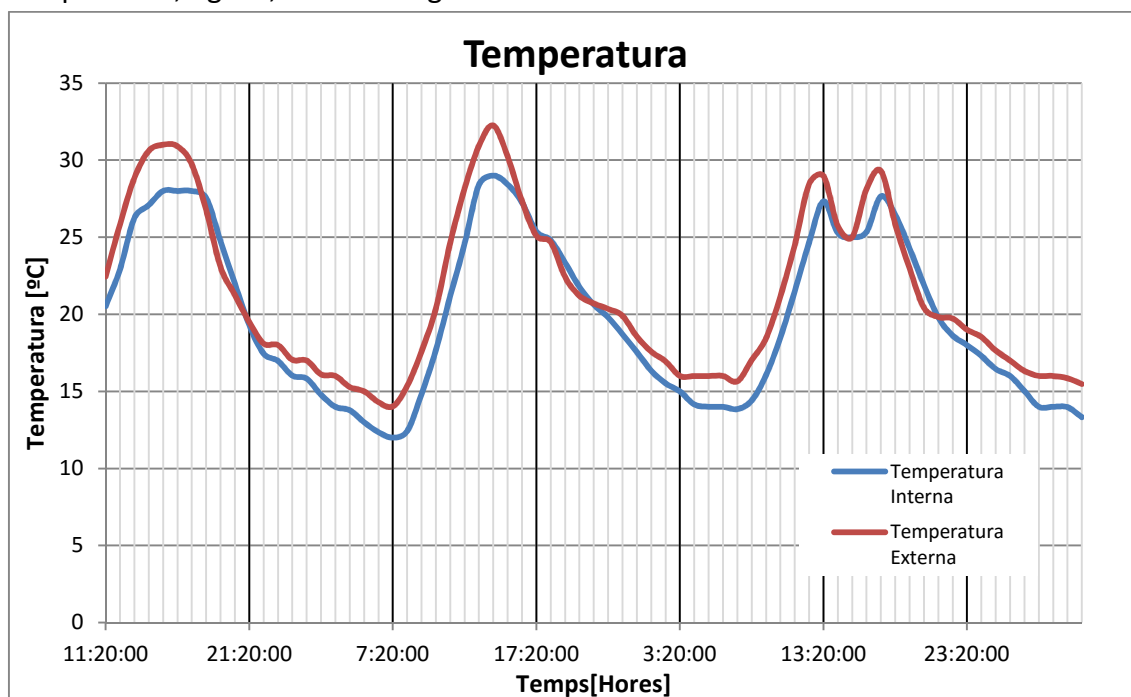


Fig. 58 – Evolució de la temperatura

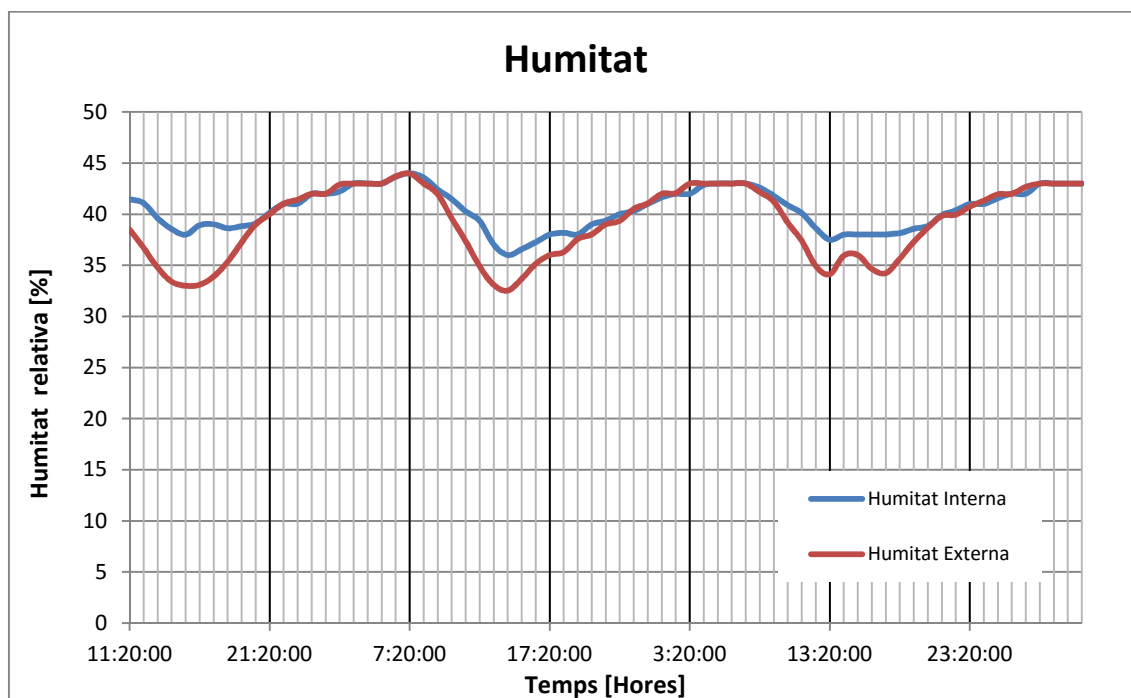


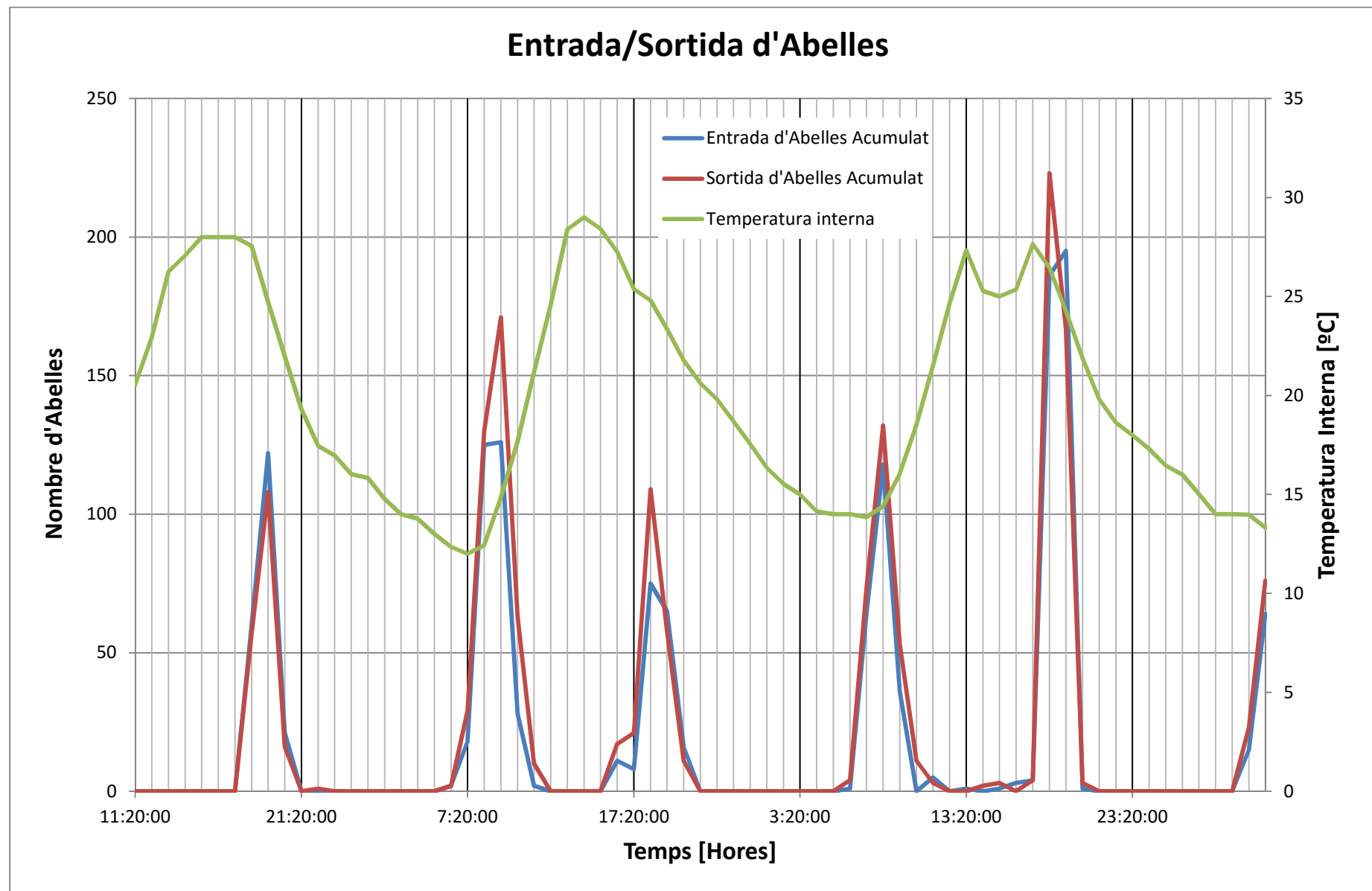
Fig. 59 – Evolució de la temperatura

S'observa que continua havent una relació de similitud entre els valors interns i externs, encara que en aquesta època de l'any els valors no són tan elevats com al juliol. També s'ha observat que a l'últim dia hi ha una pertorbació de temperatura i humitat que va venir donada per canvis meteorològics naturals.

A la següent figura, fig. 57, es mostra els valors d'entrada i sortida observats i també relacionats amb la temperatura interna de l'arna.

Es pot observar un comportament similar a la primera prova de camp. A les hores centrals del dia no hi ha gaire moviment d'abelles. Cal tenir present que en aquesta prova la temperatura no és tan elevada com a la primera experiència, per lo que es descarta un problema del sistema degut a la temperatura, i a més també es s'observa aquesta parada d'activitat durant la nit, per lo que es pot deduir que és un comportament propi de les abelles.

Així doncs, creiem que el prototipus té el funcionament esperat, però potser caldria fer alguna experiència més exhaustiva amb control visual per a verificar si aquest comportament de les abelles és el que realment es dona.



6 Anàlisi de Costos

En aquest apartat es fa un anàlisi dels costos associats al desenvolupament del prototipus.

6.1 Estudi de Costos

Els costos es poden resumir en 4 apartats:

- Cost dels components.
- Cost de disseny del producte.
- Cost de creació física del producte.
- Cost de l'enginyeria a la programació del producte.

6.1.1 Cost dels components

Components	Tenda	Quantitat	Preu unitari	Preu total
ARDUINO UNO R3*	RS Componentes	1	21,58 €	21,58 €
SD Card Shield V3.0	Electan	1	9,83 €	9,83 €
I2C module LCD	Amazon	1	1,72 €	1,72 €
Pantalla LCD 16x2	RS Componentes	1	5,94 €	5,94 €
Sensors DHT 11	Deal Extreme	2	2,13 €	4,26 €
Connectors IDC femella 20p 2x10	RS Componentes	4	1,83 €	7,32 €
Connectors IDC mascle 20p 2x10	RS Componentes	2	1,91 €	3,82 €
Connectors IDC mascle 20p 2x10 90º	RS Componentes	2	1,14 €	2,27 €
Connectors IDC femella 6p 2x3	RS Componentes	1	0,47 €	0,47 €

Connectors IDC mascle 6p 2x3	RS Componentes	1	0,56 €	0,56 €
Connectors IDC femella 8p 2x4	RS Componentes	1	0,61 €	0,61 €
Connectors IDC mascle 8p 2x4	RS Componentes	1	0,47 €	0,47 €
Perfil d'alumini de doble "U" 1 metre	Ferreteria Soler	1	2,64 €	2,64 €
Tub niló poliamida 8x10 mm	Ferreteria Soler	1	4,83 €/m	4,83 €
Placa fotoresistent de fibra de vidre 200x300x1,6 mm	RS Componentes	1	12,74 €	12,74 €
Esprai tropicalitzador	Telesa	1	16,53 €	16,53 €
fotodetectors	RS Componentes	16	1,82 €	29,12 €
resistències 470 Ω	RS Componentes	16	0,02 €	0,26 €
Multiplexor 16:1 24 pins	RS Componentes	1	2,98 €	2,98 €
zocal DIL 12x2	RS Componentes	1	1,13 €	1,13 €
Soldadures estany	RS Componentes	0,07 kg	85,40 €/kg	5,98 €
Condensador 100 uF 25 V	RS Componentes	2	0,22 €	0,44 €
Cable pla 10 vies	RS Componentes	10 metre	0,76 €/m	7,55 €
Targeta SD 512 MB	Amazon	1	13,38 €	13,38 €
Connector mascle PCB 36 pins	RS Componentes	1	1,09 €	1,09 €

Caragols LCD	Telesa	8	0,04 €	0,33 €
Boto reset	Telesa	1	0,33 €	0,33 €
Suports LCD	Telesa	8	0,17 €	1,32 €
Total sense I.V.A.				159,51 €
Total amb I.V.A. (21 %)				193,00 €

Es pot observar que el cost total del prototipus no és gaire elevat i que es pot reduir si es fa una compra per volum.

6.1.2 Cost de disseny del producte

Aquests costos estan relacionats amb la tasca d'enginyeria que s'ha dut a terme per a tenir un croquis inicial de l'aparell i definir el funcionament inicial i muntar els circuits de prova en una "protoboard" que emulin a baix nivell el funcionament del producte final.

Tipus de treball	Temps (hores)	Preu (€ / hora)	Preu total (€)
Disseny de l'aparell	10	30	300
Funcionament de l'aparell	10	20	200

6.1.3 Cost de creació física del producte

La construcció de l'aparell consta de diferents parts ja que per construir l'aparell s'han de buscar i comprar els materials.

Tipus de treball	Temps (hores)	Preu (€ / hora)	Preu total (€)
Comprar material	2	20	40
Muntatge del prototip	20	25	500

6.1.4 Cost de programació del producte

Una vegada que ja s'ha muntat tot es l'hora de començar a programar el microcontrolador que conté el prototip, aquests costos es poden resumir en dos apartats, l'escriptura del codi i les diferents proves que es van fent a mesura que s'avança en la creació d'aquest.

Tipus de treball	Temps (hores)	Preu (€ / hora)	Preu total (€)
Escriptura codi	50	20	1000
Comprovacions	10	15	150

Finalment es sumen tots els costos, a més s'afegeix un factor de correcció.

Tipus de cost	Cost Total Parcial (€)	Factor de correcció (%)	Cost Total Final (€)
Components	193.005		193
Disseny	500	10	550
Creació física	540	10	594
Programació	1150	10	1265
Cost total			2602

7 Conclusions i Treball Futur

7.1 Conclusions

Aquest Treball Final de Grau (TFG) es va centrar a la monitorització de ruscs d'abelles amb la intenció de poder oferir informació útil als apicultors o que sigui vàlida per a l'estudi del comportament de les abelles.

Per a poder dur a terme aquest objectiu es va dissenyar i construir un prototip senzill i de baix cost amb la capacitat de recopilar diferents paràmetres que puguin afectar a l'entorn del rusc. Això a implicat un anàlisi del que ja existia al mercat així com determinar quins sensors s'havien de fer servir a més d'aprendre a treballar amb ells.

L'elecció de la plataforma de disseny es va centrar sota la idea de mantenir el baix cost i fer-lo assumible per al desenvolupament d'aquest TFG, així es va optar per l'Arduino com entorn de desenvolupament.

Les dades que es prenen des dels sensors s'emmagatzemen a una targeta SD que facilita a l'usuari l'accés a aquestes sense haver de desmuntar el prototipus.

Els materials que van fer possible la creació del prototipus van ser facilitats pel Departament d'Informàtica i Enginyeria Industrial.

La part més extensa i complicada del treball ha estat la programació del sistema de control degut a la necessitat de poder capturar les dades de la forma més ràpida possible.

Per a comprovar el correcte funcionament del prototipus s'han dut a terme dues proves de camp. La primera de curta durada per a comprovar el seu funcionament bàsic ens va donar uns resultats, que encara que semblaven correctes, mostraven un comportament de les abelles estrany i que podia donar com a conclusió un error del sistema, ja que durant unes hores no hi havia moviment d'entrada o sortida de l'arna.

Es va dur a terme una segona prova de camp de més durada i que ha donat com a resultat un comportament similar, la qual cosa inicialment valida els primers resultats. Pel contrari, des del poc coneixement del comportament que tinc d'aquests insectes no tinc capacitat per poder deduir cap explicació. Tanmateix, caldria de fer un estudi

més exhaustiu que demostrés que el comportament de les abelles és el monitoritzat pel prototipus.

També cal destacar que la planificació final d'aquest TFG ha variat respecte a la que es va proposar inicialment. Al següent diagrama de Gantt es presenta com ha quedat finalment.

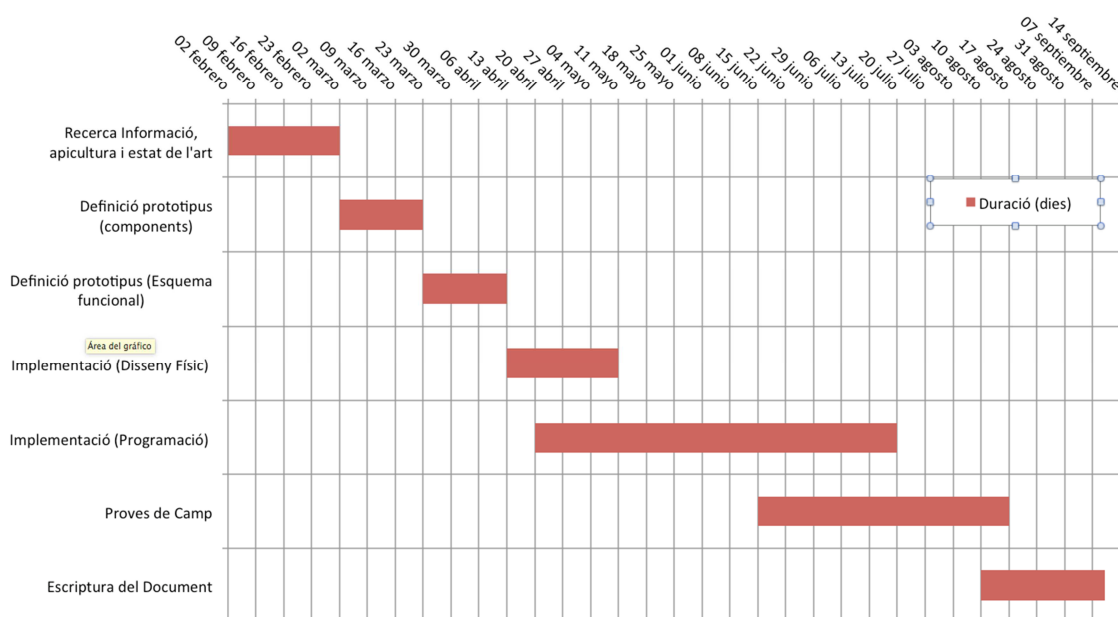


Fig. 60 – Diagrama de Gantt final

La principal variació ha estat al fet d'una major durada a l'hora de programar el prototipus que va fer que els proves de camp s'haguessin endarrerit. Tanmateix l'escriptura d'aquest document ha estat més laboriosa del que s'havia estimat inicialment.

7.2 Treball Futur

A continuació es farà un llistat del possible treball futur que pot donar com a continuïtat al present TFG:

- Intentar reduir el volum de la mòdul principal on hi ha el microcontrolador, el mòdul SD, el multiplexor, les connexions i el mòdul DHT extern, per fer això s'hauria de dissenyar de nou tot el prototipus. Això es pot aconseguir obviant la placa de l'ARDUINO i fent servir exclusivament el microcontrolador i l'electrònica bàsica necessària.
- Afegir un mòdul GSM que permetés transmetre dades cap al telèfon cel·lular de l'apicultor.

- Afegir capacitat de comunicació Wi-Fi per tal de poder incloure un mòdul de monitorització a cadascun dels rusc presents a una determinada ubicació.
- Degut al baix consum del prototipus, podria ser interessant afegir plaques solars petites per tal d'augmentar el nombre d'hores de treball i així no dependre de grans bateries.
- Dissenyar el mòdul comptador d'abelles de nou per a que permetés a les abelles una ventilació més eficient del rusc, ja que en els dies de més calor les abelles han de ventilar més aire per a controlar la temperatura del rusc.
- Per finalitzar, caldria fer un estudi més acurat del perquè del comportament observat a les abelles.

8 Bibliografia

[1] **Arnia**

<http://www.arnia.co.uk>

[2] **SolutionBee**

<http://www.solutionbee.com>

[3] **Beemonitor**

<http://www.beemonitor.org/>

[4] **Dallas DS18B20**

<https://www.sparkfun.com/products/245>

[5] **Sensor d'humitat HIH4000-002**

<http://www.digikey.com/product-detail/en/HH-4000-002/480-3737-ND/1785832>

[6] **Sensor DHT11**

http://www.tinyosshop.com/index.php?route=product/product&product_id=296

[7] **sensors GP1A75HR**

<http://es.rs-online.com/web/p/sensores-opticos-reflectantes/8264640/>

[8] **multiplexor SN74150**

<http://es.rs-online.com/web/p/circuitos-integrados-de-conmutador-multiplexor/7092157/>

[9] **Pantalla LCD**

<http://es.rs-online.com/web/p/displays-monocromos-lcd/7200207/>

http://www.amazon.es/dp/B00K67Y4CM/ref=asc_df_B00K67Y4CM26858630/?tag=googshopes-21&creative=24526&creativeASIN=B00K67Y4CM&linkCode=df0

[10] **Memòria SD**

http://www.amazon.es/SeeedStudio-Arduino-SD-Card-Shield/dp/B00L7Z98YG/ref=sr_1_9?s=electronics&ie=UTF8&qid=1441821461&sr=1-9&keywords=arduino+sd+shield

http://www.amazon.es/Sandisk-SD-Card-512Mb-Retail/dp/B0000D8CMK/ref=pd_cp_147_1?ie=UTF8&refRID=0KQPB35T15WCAWMGPV4Y

[11] **ARDUINO UNO Rev.2**

<http://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-procesador-y-microcontrolador/7154081/>

9 Annexos

9.1 Resum de les Reunions

A continuació es presenten les actes de les reunions més significatives que s'han realitzat durant el desenvolupament del present Treball Final de Grau.

Han estat moltes més reunions, però s'han escollit les que es consideren més importants a l'hora de definir i mostrar el que ha estat aquest projecte.

9.1.1 Reunió 02/02/2015 - Definició del Treball Final de Grau

Avui dia 2 de febrer de 2015, hem acabat de decidir el treball que realitzaré, hem descartat el tema sobre el treball exercit per un ciclista degut a la seva complexitat i de les possibles idees que he presentat hem triat la de supervisió de condicions d'un rusc d'abelles mitjançant sensors, ARDUINO i comunicació via 3G o SMS, pel que fa a aquest tema de treball ens ha agradat ja que es vistos i avarca bastants camps d'estudi, hem mirat per internet i hem vist que hi ha bastantes coses ja fetes sobre el tema però l'idea bàsica es intentar fer quelcom diferent, durant la setmana he fet un resum base del treball, quins paràmetres ens poden interessar d'un rusc d'abelles, quins elements ens faran falta per fer el control, que hi ha fet i quines fonts d'informació properes a nosaltres hi ha.

9.1.2 Reunió 06/02/2015 - Planificació del Treball Final de Grau

Avui dia 6 de febrer de 2015 hem començat a treballar, el meu tutor m'ha indicat que s'han de fer les següents coses, decisió de les hores diàries que dedicaré al TFG, fer resums de les reunions que anem fent i mirar per internet i fer un resum de tot el que hi ha fet tant a nivell professional com amateur, tot el que anem fent cada dia s'ha d'emmagatzemar a una carpeta "Dropbox" compartida, per poder portar un seguiment de l'activitat realitzada diàriament, també s'ha comentat la possible visita a César Gemenó a ETSEA durant la setmana que ve, en aquesta reunió s'ha de portar un llistat de preguntes i dubtes sobre les abelles.

9.1.3 Reunió 10/02/2015 – Reunió expert apicultura

Avui dia 10 de febrer de 2015 hem anat a ETSEA a visitar César Gemenó, un entomòleg dedicat a l'estudi de les abelles i altres insectes, durant la xerrada informativa que hem fet se'ns ha comentat diverses possibilitats que cal remarcar ja que són molt importants, a continuació faré un llistat d'aquestes:

- Pel que fa al temps previst de realització del treball, l'únic que tenim temps de fer es un prototip per a poder llegir valors reals de paràmetres i emmagatzemar-los o enviar-los via web, SMS, etc.
- Per fer un estudi del comportament del rusc en funció dels paràmetres que estem emmagatzemant, ens cal més temps ja que una vegada fet el prototip, hauríem d'instal·lar-lo, i fer diverses provés amb diversos ruscos, en aquest punt hi han dos problemes, un temporal; tenim poc temps per observar tot el cicle de les abelles ja que les abelles en funció de cada estació fan una activitat diferent, l'altre de material; el departament d'apicultura d'ETSEA disposa de pocs ruscs d'abelles i per fer una bona estadística fan falta més ruscos.
- Recopilació de paràmetres i explicació:
 - Humitat i temperatura: pel que fa la temperatura s'hauria de mesurar en diversos punts; la humitat s'hauria de mesurar a l'ambient (fàcil implementació).
 - Nombre d'abelles del rusc entrada/sortida d'aquestes: se'ns ha comentat que seria interessant poder controlar el nombre d'abelles que hi ha dins del rusc i el cabal d'entrada/sortida d'aquestes (difícil implementació).
 - Pes del rus increment/decrement brusc del pes: control del pes del rusc per tenir una idea de la producció de mel, interessant poder controlar increments/decrements del pes del rusc en períodes de temps a escollir (fàcil implementació).
 - Freqüència del so que produeixen les abelles: Pel que fa a aquest paràmetre no es de gran importància per a la producció de mel, però pot ser interessant instal·lar un micròfon per poder mesurar-lo (fàcil implementació).
 - Paràmetres climàtics(pluja, boira, núvols, molt sol, etc.): aquests paràmetres s'obtidrien via web mitjançant les coordenades GPS del lloc on tenim el rusc (difícil implementació).
 - Estat de les bateries dels prototips: Indiferentment de la manera d'obtenir energia per carregar les bateries que alimenten els elements

electrònics que s'instal·laran, s'ha de portar un control del nivell de les bateries (fàcil implementació).

- Se'ns va comentar la possibilitat d'instal·lar un prototip en algun dels ruscos que disposa ETSEA.
- Impacte de l'abellerol sobre els ruscs, possibilitat de realitzar un estudi científic sobre aquest tema, ja que actualment no se n'ha fet cap.

9.1.4 Reunió 16/02/2015 –Preparació reunió experts apicultura

Avui dia 16 de febrer de 2015, hem comentat les pautes/preguntes a seguir a la reunió que tindrà lloc el dimecres 18 amb César Gemenó i l'apicultor, hem mirat diferents enllaços web d'interès que ens ha enviat el César en els quals hi havia moltes coses fetes tant a nivell amateur com professional, hem decidit que els 3 temes més importants que hem de comentar durant la reunió són els següents:

- Humitat i temperatura: s'ha de preguntar al apicultor possibles reaccions de les abelles davant d'un sensor instal·lat en el seu rusc, pel que fa la lectura de temperatura si les abelles tapen el sensor no s'afecta aquesta lectura però la lectura d'humitat si que pot quedar afectada.
- Control d'entrada i sortida d'abelles del rusc: s'ha de preguntar si les abelles tenen dificultats quan hi ha quelcom a l'entrada del rusc per mesurar l'entrada i sortida d'aquestes.

9.1.5 Reunió 18/02/2015 – Reunió experts apicultura

Avui dia 18 de febrer de 2015, hem anat a ETSEA i ens hem reunit amb l'apicultor i el César, el César ens ha comentat que sobre el control d'entrada i sortida d'abelles ja hi ha bastantes coses fetes, a part el apicultor ens ha comentat un llistat d'idees que es numeraran a continuació:

1. L'apicultor comenta que una de les coses més importants és el control d'uns ruscos especials (fecundadors) que s'utilitzen per formar abelles reines. En aquests ruscos el paràmetre fonamental és la temperatura.
2. Per formar-se la reina, s'aconsegueix amb alimentació basada en **gelea reial** a les larves de menys de 3 dies.
3. Quan neix la primera reina, mata a la resta de larves.

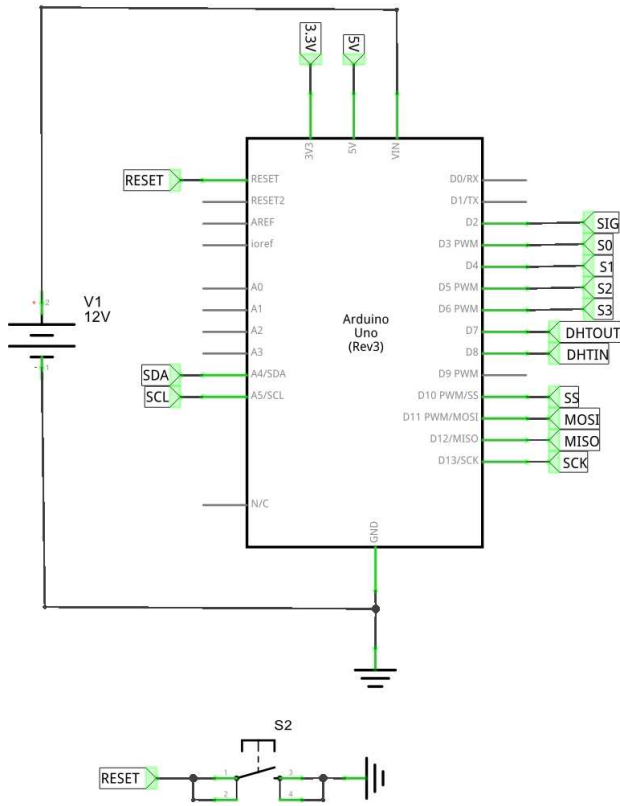
4. Hi ha un projecte de l'IRTA que ja fa servir compteig de l'entrada/sortida de les abelles. A la UdL això ho gestiona l'Adriana Escudero.
5. Es comenta que un dia s'haurà d'anar a veure els ruscos per a prendre mides del rusc i de l'entrada en ell.
6. Quedem que ens centrarem en tres paràmetres:
 - Temperatura interna i externa.
 - Humitat interna i externa.
 - Control de l'entrada i sortida d'abelles en un rusc.
7. S'ha de tenir present l'alimentació i consum del prototip (bateries).

9.1.6 Reunió 02/03/2015 – Identificació de components, inici desenvolupament

Avui dia 2 de març de 2015, hem fet una reunió per decidir els tipus de sensors que farem anar per detectar el pas de les abelles, hem anat al laboratori d'electrònica a veure l'Adolf i ens ha comentat que seria interessant posar sensors de barrera infraroja amb forma de forquilla per detectar el pas de quelcom que en aquest cas serà una abella, ara toca decidir les dimensions d'aquests sensors i quan se'n col·locaran i si fa falta l'ús d'un multiplexor per gestionar tots els sensors, pel que fa la lectura de temperatura i humitat, s'utilitzarà un prototipus que conte els dos sensors en un; i transmet les dades per un únic pin, això implica poc cablejat.

Es decideix crear una estructura basada en un perfil d'alumini per a les obertures per on passaran les abelles. Prèviament es farà una prova de funcionament amb els sensors seleccionats amb una placa protoboard.

9.2 Schematics



ARDUINO			
Project	Monitorització de Ruscs d'Abelles		
Filename	ARDUINO.fzz	Rev	1.0
Date	09 set. 2015 18:49:44	Sheet	1/5

Fig. 61 – Schematic ARDUINO UNO Rev.2

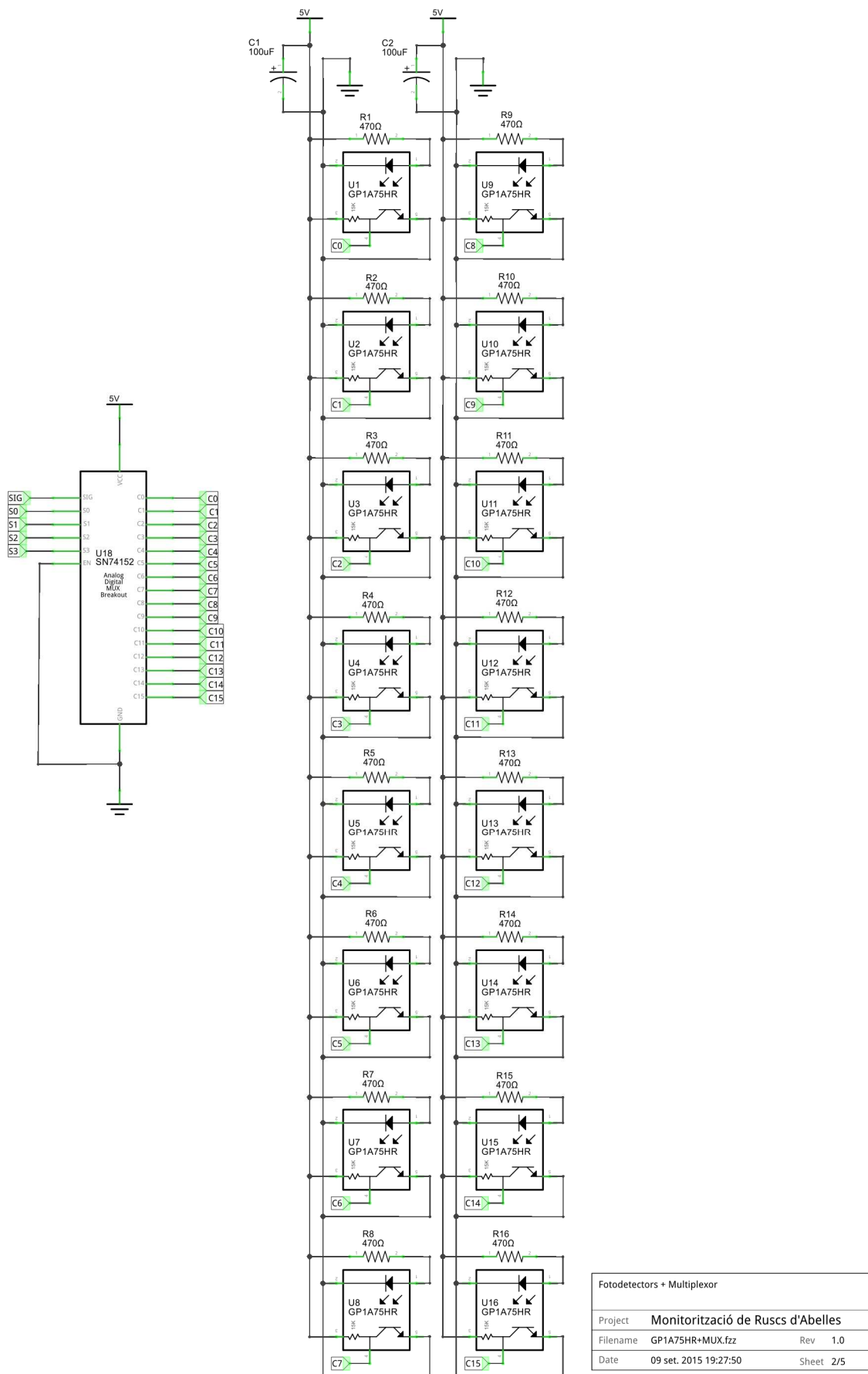
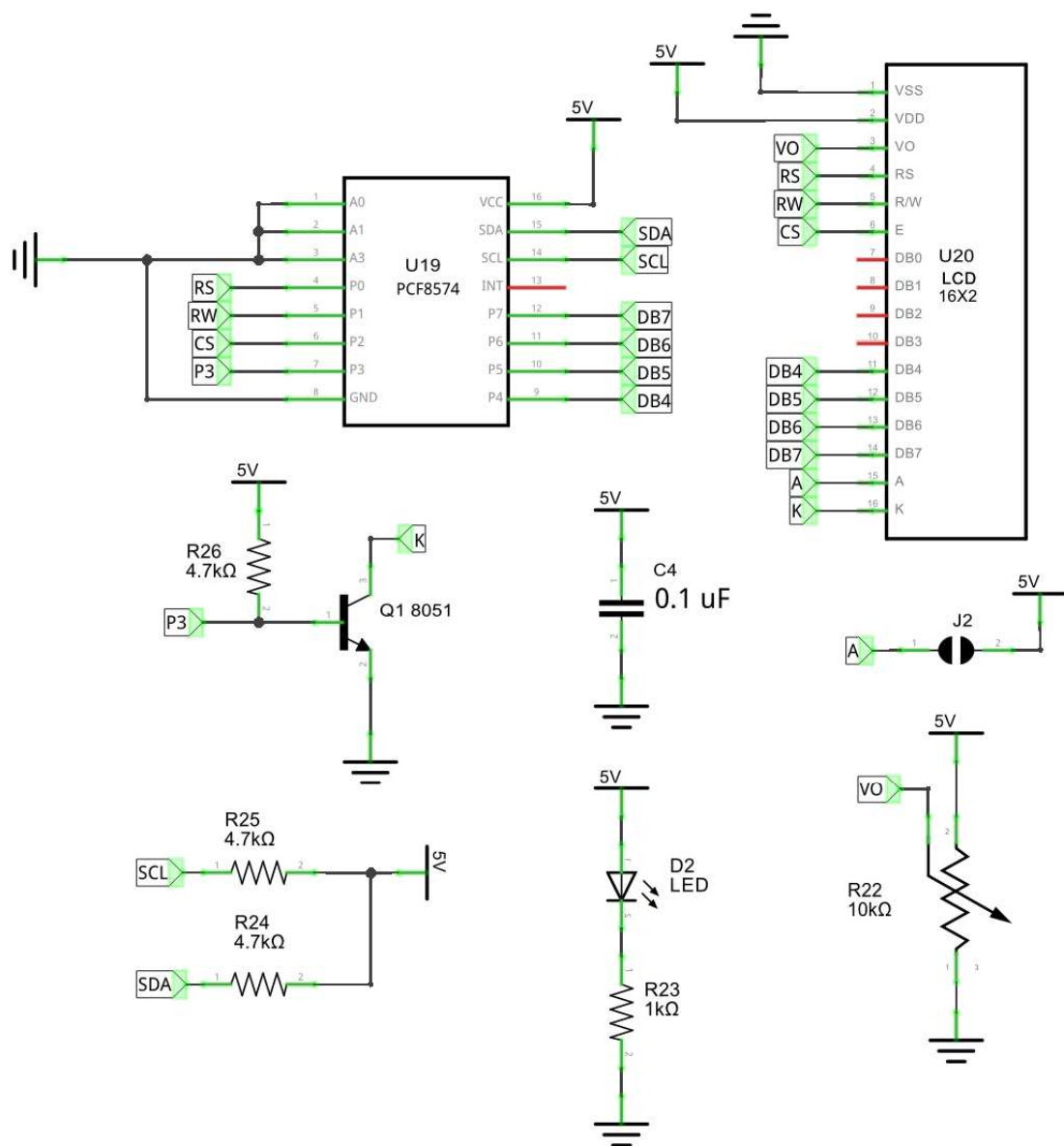
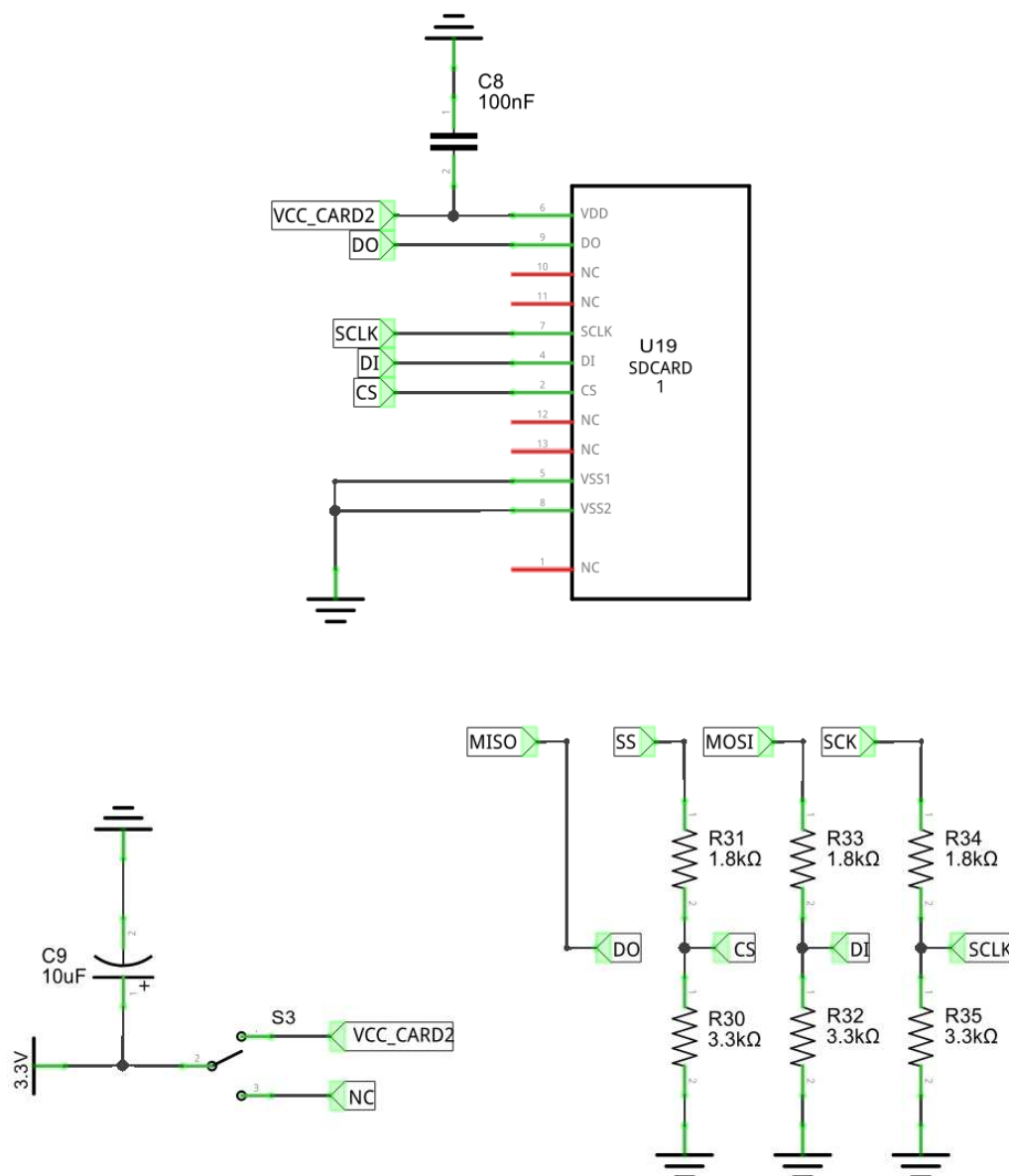


Fig. 62 – Schematic Fotodetectors + Multiplexor



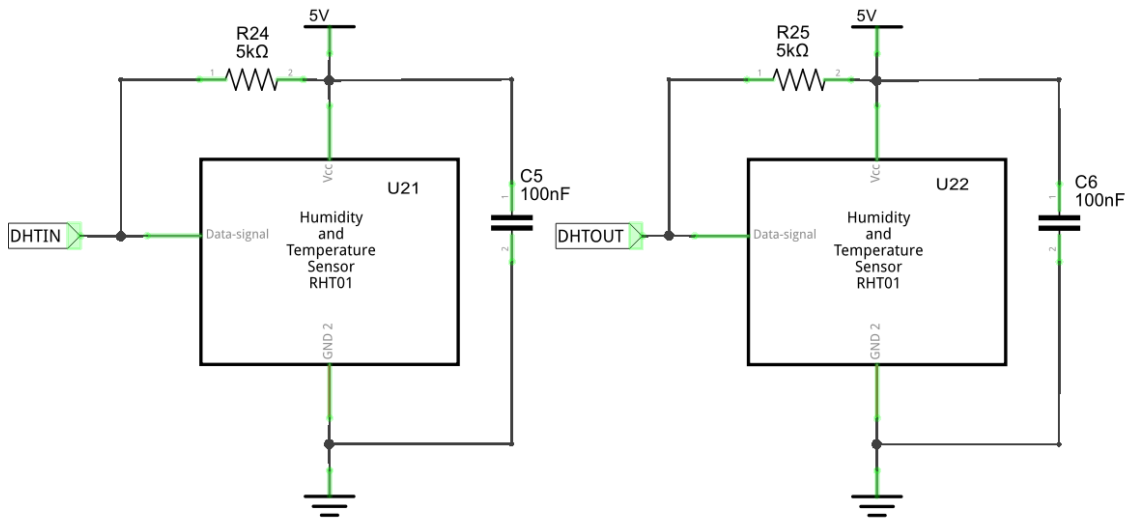
LCD 16x2 + Mòdul I2C			
Project	Monitorització de Ruscs d'Abelles		
Filename	LCD+I2C.fzz	Rev	1.0
Date	09 set. 2015 19:31:09	Sheet	3/5

Fig. 63 – Schematic LCD 16x2 + Mòdul I2C



Mòdul SD Card + Memòria SD			
Project	Monitorització de Ruscs d'Abelles		
Filename	SD_CARD.fzz	Rev	1.0
Date	09 set. 2015 19:36:42	Sheet	4/5

Fig. 64 – Schematic Mòdul SD Card + Memòria SD



Sensors DHT11			
Project	Monitorització de Ruscs d'Abelles		
Filename	SENSORS_DHT11.fzz	Rev	1.0
Date	09 set. 2015 19:39:57	Sheet	5/5

Fig. 65 – Schematic Sensors DHT11

9.3 PCB

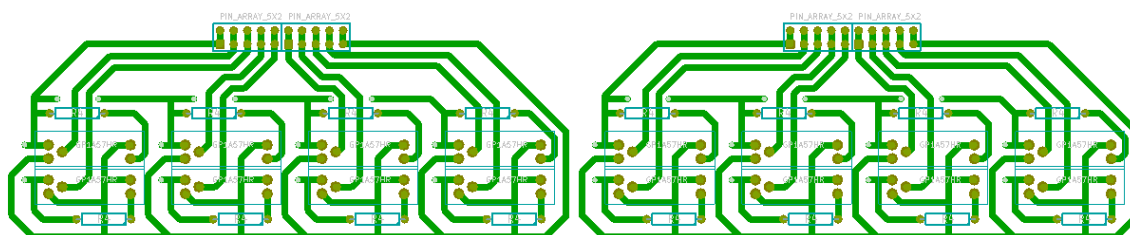


Fig. 66 – PCB Mòdul comptador d'abelles

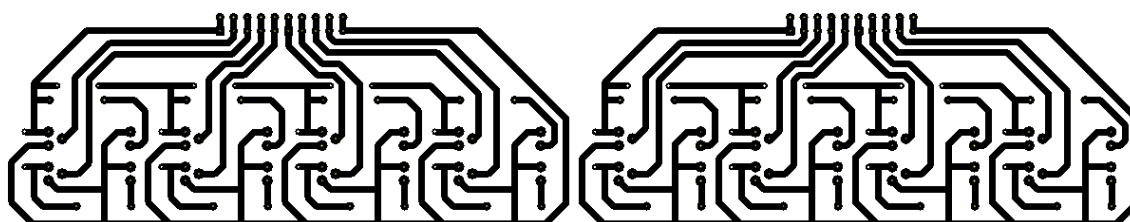


Fig. 67 – PCB Mòdul comptador d'abelles (Impressió Placa Baquelita)

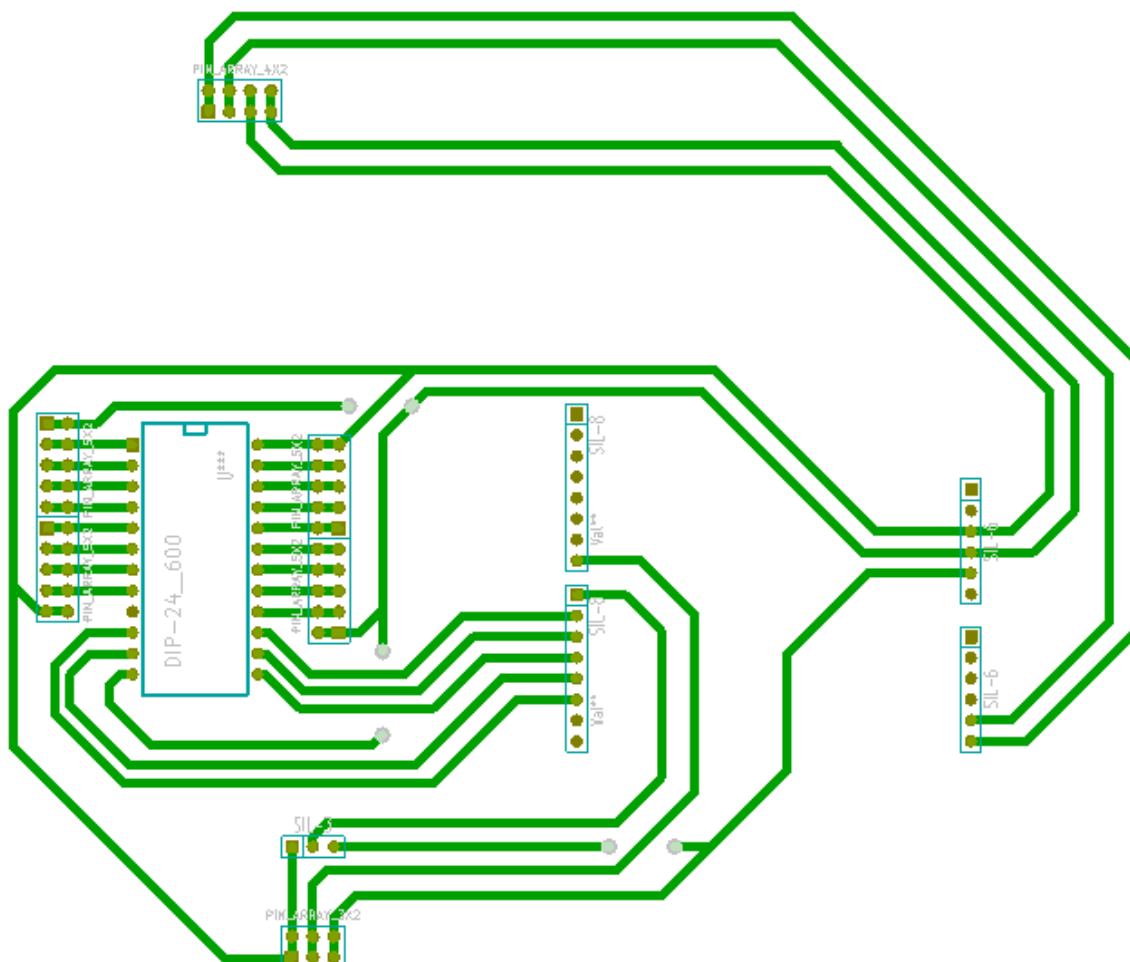


Fig. 68 – PCB Prototip principal

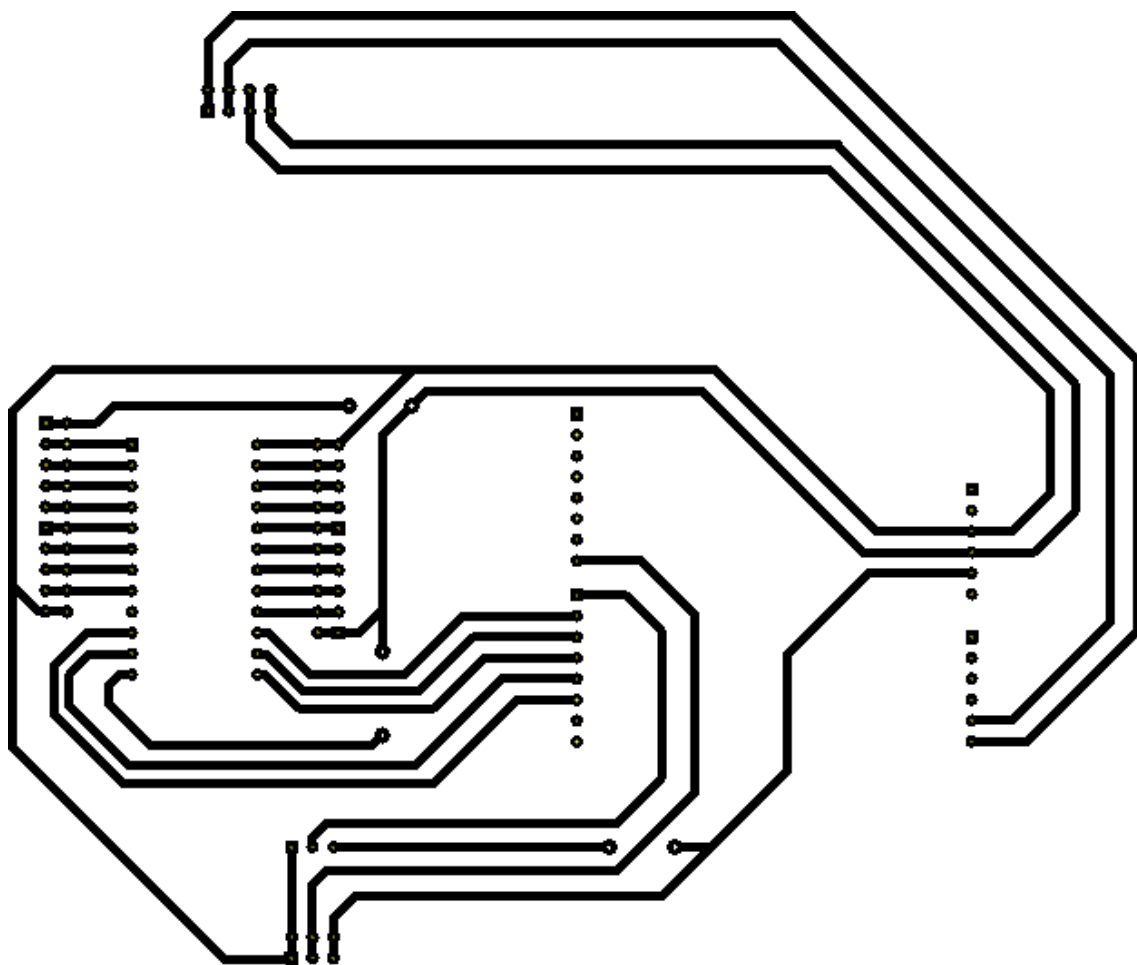


Fig. 69 – PCB Prototip principal (Impressió Placa Baquelita)

9.4 Vistes Mòdul Comptador d'Abelles

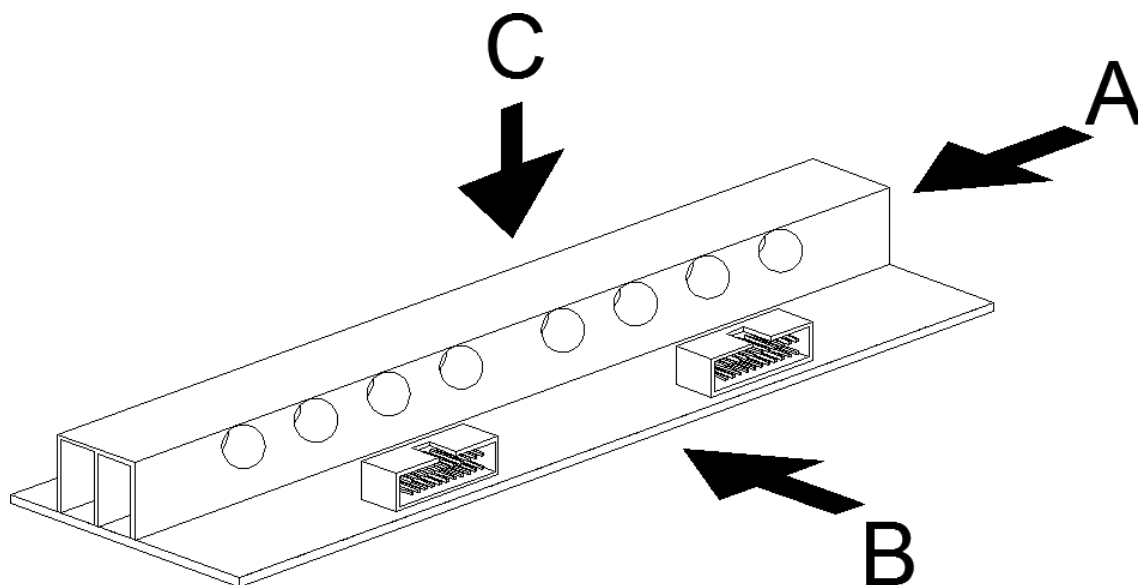


Fig. 70 – Vista en Perspectiva

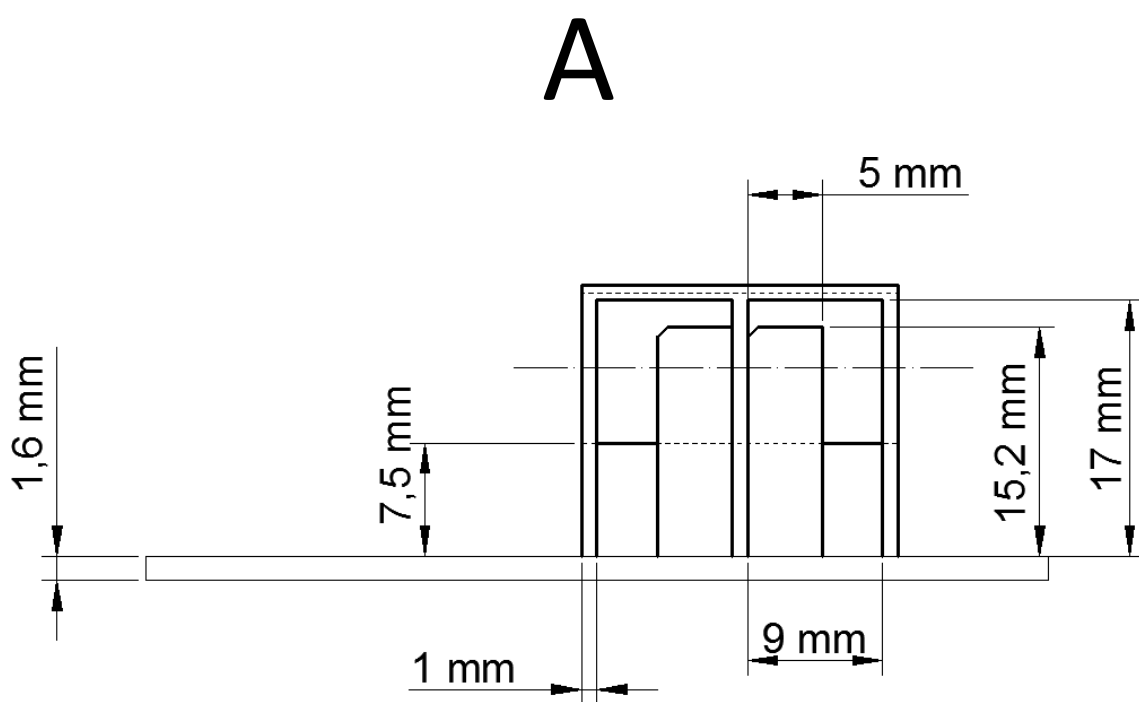


Fig. 71 – Vista Perfil

B

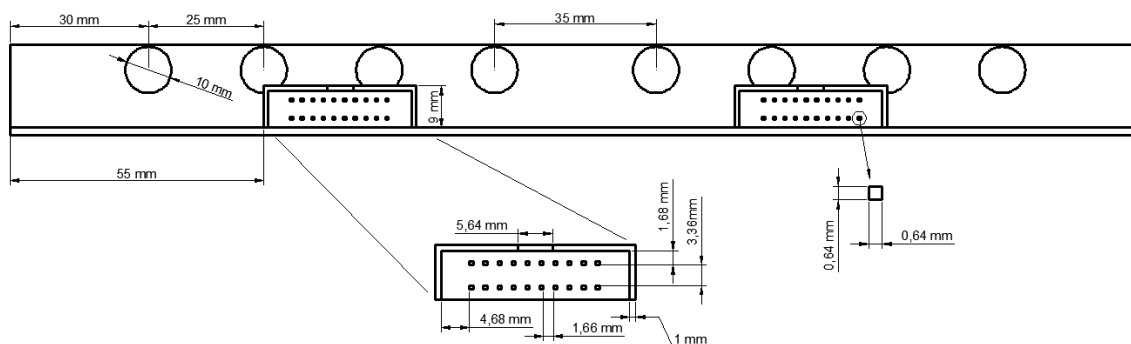


Fig. 72 – Vista Alçat

C

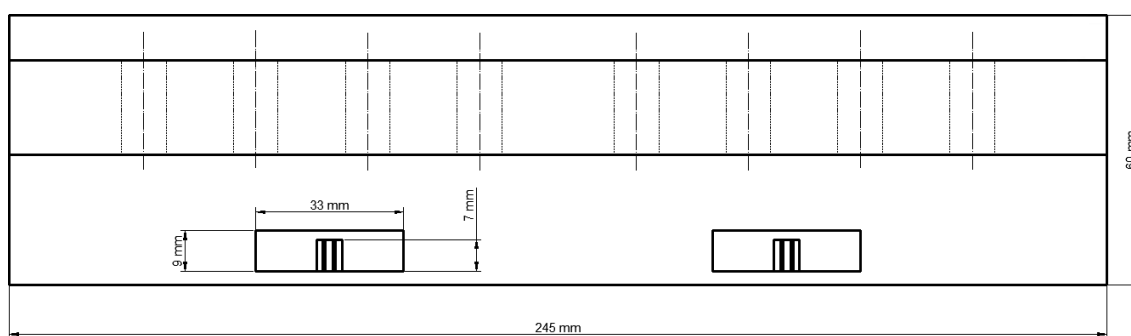


Fig. 73 – Vista Planta